

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta Strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## **Montáž a ověření funkčnosti 3D tiskárny**

Assembly and Verify 3D Printer Functionality

Student:

Bc. Jan Ermis

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Ermis**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **2303T002 Strojírenská technologie**  
Téma: **Montáž a ověření funkčnosti 3D tiskárny**  
**Assembly and Verify 3D Printer Functionality**  
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Montáž tiskárny Anet A2.
3. Návrh modelu a metodika hodnocení kvality 3D tisku.
4. Porovnání tisku vzorového modelu na vybraných 3D tiskárnách.
5. Zhodnocení a závěry.

Seznam doporučené odborné literatury:

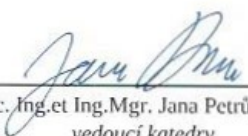
GIBSON, I, D ROSEN a B STUCKER. *Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing*. New York: Springer, c2010, xxii, 459 p. ISBN 1441911200.  
Virta, Mikael. *The Capabilities of the Fused Deposition Modeling Machine Ultimakes and its Adjusting for the Bio-medical Research Purposes*. Master of Science Thesis. Examiner: Minna Kellomäko. 2013. 107 p. Faculty of Engineering Sciences. Tampere University of Technology.  
Internetové zdroje [www.3d-tisk.cz](http://www.3d-tisk.cz), [www.3dhubs.com](http://www.3dhubs.com), <http://www.thingiverse.com>, aj.  
Kozlov, Nikita. *Technologie 3D tisku v procesní technice*. Bakalářská práce. Praha 2017. ČVUT. Vedoucí bakalářské práce: Jiří Moravec.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.  
vedoucí katedry




  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu,

V Ostravě .....2.5.2018.....

..........  
podpis studenta

Prohlašuji, že

jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 2.5.2018

.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jan Ermis

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hukvaldy 139

## **Anotace diplomové práce**

ERMIS, J. *Montáž a ověření funkčnosti 3D tiskárny: diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2018, 77 s, Vedoucí práce: Kratochvíl. J.

Diplomová práce se zabývá montáží a ověřením funkčnosti 3D tiskárny Anet A2. V úvodu práce je popsána technologie Fused Deposition Modeling (FDM) a materiály, které tiskárna využívá. Praktická část je pak zaměřena na popis montážního postupu a kalibraci 3D tiskárny Anet A2. Část praktické části je věnována navržení tištěného modelu, jeho vtištění a porovnání. Vtištění a porovnání probíhalo na tiskárně Anet A2 a dvou dalších 3D tiskárnách: EASY3DMAKER a Prusa i3 MK2S. V závěru diplomové práce jsou porovnány výsledky všech zhodnocení parametrů modelů vtištěných na zmiňovaných 3D tiskárnách.

## **Anotation of master thesis**

ERMIS, J. *Assembly and Verify 3D Printer Function: master thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of machining assembly and engineering metrology, 2018, 77 p, Thesis head: Kratochvíl. J.

The master thesis is focused on assembly and function review of printer Anet A2. The introduction of the thesis describes Fused Deposition Modeling (FDM) technology and materials which are used. The practical part of the thesis is then engaged in discription of the assembly and calibration of 3D printer Anet A2. One part of the practical part is dedicated to a designing of printed model, its print and comparation. Printing and comparison have been done on 3D printer Anet A2 and two another 3D printers: EASY3DMAKER a Prusa i3 MK2S. At the end if the master thesis are evaluated all the parameters of the models printed on mentioned printers.

# Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	9
1. Úvod .....	10
2. Montáž tiskárny Anet A2.....	11
2.1 Technologie FDM .....	11
2.2 Základní tiskový materiál pro metodu FDM.....	12
2.2.1 PLA – Polylactid acid .....	13
2.3 Montážní postup 3D tiskárny Anet A2 .....	14
2.4 Instalace spodního hliníkového profilu.....	15
2.5 Instalace levé a pravé části hliníkového rámu .....	16
2.6 Instalace ložisek na upevňovací desku pro vyhřívanou podložku.....	17
2.7 Instalace ložisek do Y upevňovací destičky pro ložiska .....	18
2.8 Instalace Y krokového motorku na Y upevňovací destičku.....	19
2.9 Instalace Y osy .....	19
2.10 Instalace Y koncového spínače .....	20
2.11 Instalace vyhřívané desky .....	21
2.12 Instalace X upevňovací desky s ložisky.....	22
2.13 Instalace X motoru na X upevňovací desku. ....	23
2.14 Instalace upevňovací desky extruderu.....	24
2.15 Instalace X osy.....	25
2.16 Instalace hliníkového profilu 2020 x 380. ....	27
2.17 Instalace Z krokového motoru a podavače na Z upevňovací desku .....	28
2.18 Instalace Z pohybového šroubu .....	29
2.19 Instalace X koncové spínače.....	30
2.20 Instalace Z koncového spínače.....	31
2.21 Instalace řemenu extruderu.....	32
2.22 Instalace LCD displeje.....	33
2.23 Instalace základové desky .....	34
2.24 Instalace spojovacích desek rámu.....	35

2.25 Připojení elektroniky.....	36
2.26 Zapáskování kabelů.....	37
2.27 Připojení zdroje .....	38
2.28 Zapojení základní desky .....	39
2.29 Kalibrace Z osy.....	40
3. Návrh modelu a metodika hodnocení kvality 3D tisku .....	42
3.1 Popis tištěného vzorového modelu .....	42
3.2 Postup hodnocení tištěného modelu.....	43
3.3 Parametry tisku .....	45
3.4 Vzorový výpočet parametru $d_4$ .....	45
3.5 Vizuální hodnocení povrchu modelu .....	48
3.5.1 Boční pohled .....	49
3.5.2 Pohled shora .....	49
3.5.3 Celkový vzhled po vytištění.....	50
4. Porovnání tisku vzorového modelu na vybraných 3D tiskárnách.....	51
4.1 Použité tiskárny v praktické části.....	51
4.2 Tiskárna Anet A2 .....	51
4.2.1 Tabulky výsledků měření modelů z tiskárny Anet A2 .....	52
4.3 EASY3D MAKER 3D tiskárna .....	53
4.3.1 Tabulka výsledků měření modelů z tiskárny EASY3D MAKER.....	54
4.4 Prusa i3 MK2S .....	55
4.4.1 Tabulka výsledků měření modelů z tiskárny Prusa i3 MK2S .....	57
5. Celkové Zhodnocení.....	57
5.1 Ekonomické zhodnocení .....	58
5.2 Vizuální zhodnocení .....	58
5.3 Zhodnocení rozměrové přesnosti .....	62
6. Závěr.....	65
Seznam použité literatury.....	67
Seznam obrázků .....	69

Seznam tabulek.....	71
Seznam příloh .....	72
Příloha A – Výkres vzorového modelu .....	73
Příloha B – Obsah balení tiskárny Anet A2 .....	74



## Seznam použitých zkratk a symbolů

ABS	Akrylonitril Butaien Styren – termoplastický kopolymer – tiskařský materiál
ABSi	Akrylonitril Butaien Styren – translucent – tiskařský materiál
ASA	Akrylonitrile Styrene Acrylate – tiskařský materiál
CAD	Computer Aided Design – 2D a 3D počítačové projektování
3D	Three – dimensional – trojrozměrný
FDM	Fused Deposition Modeling – modelování tavným uložením
G-code	Programovací jazyk pro numerické řízení
IPT	Inventor part – formát součásti v Inventoru
Kč	Koruna česká
ks	Kus
LCD	Liquid Crystal Display – displej z tekutých krystalů
Obr. č	Obrázek číslo
PC	Polycarbonate – polykarbonát
PCB	Printed Circuit Board – deska s plošnými spoji
PDF	Portable Document Format – přenosný formát dokumentu
PEI	Polyethylenimine – polymer
PLA	Poly Lactid Acid – tiskový materiál
PPSF/PPSU	Polyphenylsulfone – tiskařský materiál
REP RAP	Replicating Rapid Prototyper – sebereplikace rychlé prototypování
SLA	Stereolithografie – selektivní laserové spékání
SLA – 1	Stereolithographic apparatus number 1 – první tiskárna
SLS	Selective Laser Lintering – selektivní laserové spékání materiálu
STL	Standart Triangulance Language – formát souboru
USB	Universal Seriál Bus – universální sériová sběrnice
USD	United States Dollar – americký dolar
$\alpha_1$	Lineární smrštění materiálu

# 1. Úvod

Technologie tisku trojrozměrných objektů již není na světě žádnou novinkou. Počátek tisku trojrozměrných modelů spadá do druhé poloviny 20. století. V roce 1986 byl první patent na technologii Stereolitografie. Prvním zařízením pro veřejnost byl takzvaný Stereolitografický aparát SLA-1. Z počátku byly tyto první tiskárny velice drahé. Od doby první tiskárny se patentovalo a vzniklo nespočet nových technologií. Tento rozvoj zažívá obrovský boom, cena tiskáren používající technologii FDM je již dostupná i pro domácí garážový hobby tisk. Trojrozměrný tisk se používá v umění, zdravotnictví, strojírenství a dalších odvětvích. Stále se ale bavíme většinou o kusové výrobě prototypů, které však stojí méně oproti prototypům vyráběným konvenčními technologiemi.

Řešená diplomová práce je zaměřena na tiskárnu zakoupenou Katedrou obrábění, montáže a strojírenské metrologie z čínského trhu. V této práci se v první části představila technologie, jakou tiskárna využívá společně s materiály tisku. Součástí první části je také sestavení celé tiskárny. V práci je popsána celá montáž tiskárny Anet A2. Po sestavení tiskárny byl navržen testovací model. Tento model je vytištěn pětkrát. Následně je model měřen posuvným měřítkem, tedy jeho průměry děr a válečků na povrchu. Vytištěné modely prochází také vizuálním zhodnocením. Pro porovnání tiskárny Anet A2 slouží další 3D tiskárny, na kterých je vytištěn stejný model za stejných tiskových nastavení. Na dalších tiskárnách se také využívá stejný základní materiál, tedy filament z materiálu PLA. Zhodnocení modelu proběhne stejně, v první fázi měření pomocí posuvného měřítka a v další vizuální zhodnocení.

Výsledkem této diplomové práce je hodnocení, jak si stojí zakoupená trojrozměrná tiskárna Anet A2. V porovnání s cenově odlišnými kategoriemi trojrozměrných tiskáren. Druhou použitou 3D tiskárnou je EASY3DMAKER, se kterou jsem se seznámil již v mojí bakalářské práci. Také s tiskárnou Prusa i3 MK2S od Josefa Průši, který vyrábí 3D tiskárny. Tyto 3D tiskárny dodává do celého světa jako stavebnice i jako složené stroje. Tiskárna Prusa i3 MK2S se stala v roce 2017 vítězem prestižního testu 3D tiskáren v nezávislém časopisu MAKE. [15]

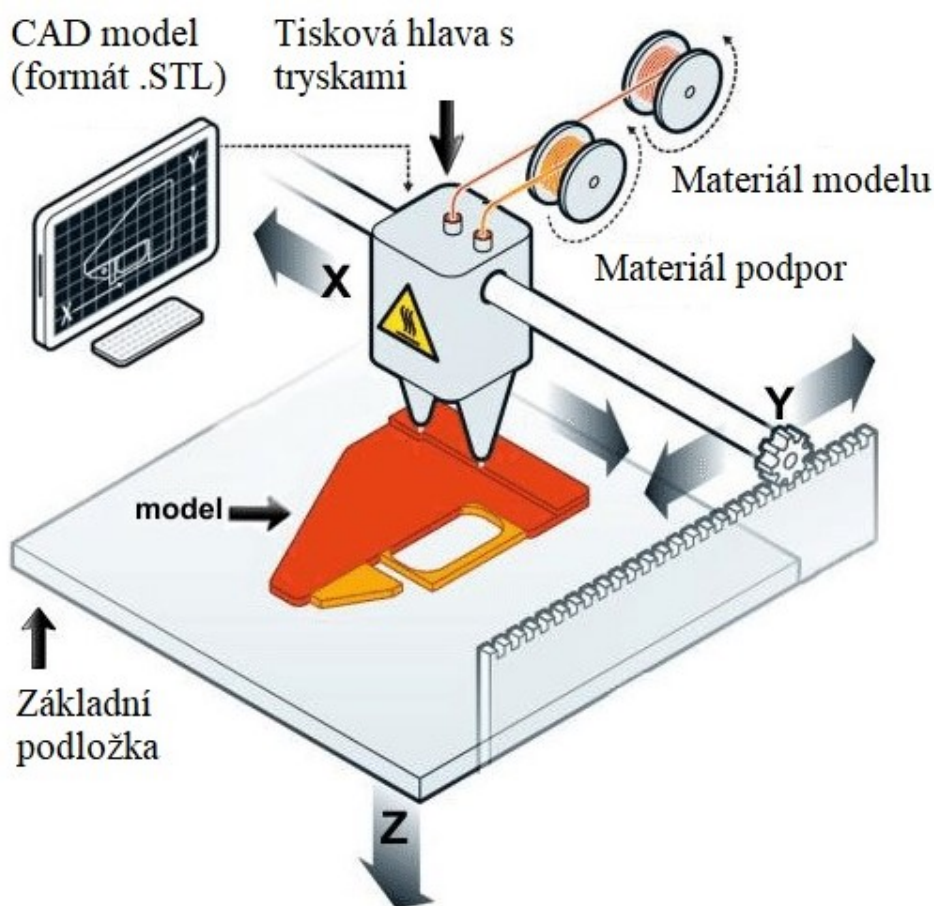
## 2. Montáž tiskárny Anet A2

### 2.1 Technologie FDM

3D tisk pomocí technologie FDM je proces vyvinutý firmou Stratasys. Tato technologie vznikla v roce 1990. První prototypy 1000, 1500 a 1600 byly v dalších letech systematicky dále vyvíjeny.

Zkratka FDM nese technologii již v názvu Fused Deposition Modeling doslova „tavit uložit modelovat“. Model vytvořený pomocí FDM technologie začíná jako soubor CAD. CAD soubor musí být následně převeden do formátu .STL, který podporují programy tiskáren. Tento model je rozdělen do vrstev, které jsou přeneseny do G – codu. G-code určuje pohyb trysky a vytváří celý model.

Tiskárna pracující na principu FDM (Obr.č.1) používá k tisku dva druhy materiálu. Jeden materiál tvoří hotový model, nazývaný jako modelový (základní) materiál. Druhý typ je takzvaný podpurný materiál, který tvoří podporu tisku složitějších tvarů. V průběhu tisku je základní materiál dodáván ve formě vlákna s kruhovým průřezem o průměru 1 ÷ 2 mm.



Obrázek č. 1 – Princip technologie FDM [9]

Obecně tiskárny pracující na principu FDM, používají pouze jeden materiál, tedy základní. Použití dvou materiálů anebo více je závislé většinou na počtu trysek. Základní materiál bývá uložený a navinutý na cívce, z které je přiváděn do vytlačovací trysky. Tryska „extruder“ roztaví tyto vlákna a vytlačuje je na základní podložku. U této technologie je většinou základní podložka neboli „hotbed“ vyhřívána. Tryska se u většiny tiskáren pohybuje v souřadnicích X, Y a vytváří tištěnou vrstvu. Základní podložka se po vytištění této vrstvy posune v ose Z. Toto je obecný princip a je individuální od konstrukce tiskárny, někdy se v souřadnicích X a Y pohybuje základní podložka. Obecně se vytvoří vrstva v osách X a Y po posunutí v ose Z se vytváří další, a takto tvoříme model. Jak trysku, tak vyhřívanou základní podložku řídí číslicově počítač.

Nově nanesený materiál ztuhne, přenáší své teplo na vrstvu pod ním. Ve srovnání s jinými procesy 3D tisku je FDM jednodušší, ale poskytuje méně kvalitní součásti. Tiskárny, které používají tuto technologii mají zpravidla nízké pořizovací náklady a jsou široce používány. Ve srovnání s technologiemi SLS a SLA je FDM pomalý proces. Tvorbu modelu lze zrychlit stavbou širších kladených vrstev. To má však za následek, že vytvořený model je vyroben s nižší tolerancí a má horší výsledný povrch. Viditelné vrstvy tisku se vytváří na plochách a okrajích s ohledem na geometrii a vlastnosti roztaveného materiálu. Tento vrstvený efekt je omezením tohoto procesu. Výsledný povrch může být dále upraven a dokončen pomocí broušení, frézování, vyhlazování pomocí acetonových výparů a následně lakován.

Technologie FDM se používá v různých průmyslových odvětvích (spotřební zboží, automobilový průmysl). Hlavně se využívá tato technologie ve vývoji produktů a prototypů. Nejběžnější tiskové materiály jsou ABS a PLA, ale na trhu nalezneme také další druhy termoplastů. Zajímavostí je, že nová tiskárna od společnosti Stratasys z řady F123 dokáže tisknout až ze čtyř materiálů najednou. Tisk dvou barev je již u většiny tiskáren samozřejmostí. Tato technologie se používá u tiskáren podle druhu konstrukce: Kartézská, Delta a Polar. [3][4][5][6][7][8]

## 2.2 Základní tiskový materiál pro metodu FDM

V současné době je trh plný různých variant a typů polymerních plastů, kovů apod. Dodávají se jako vlákno, prášek atd. Volba materiálu vždy závisí na použité technologii tisku. Technologie FDM může pracovat s materiály jako ABS, PLA, ABSi, ABS-M30, ASA, Nylon, PC, PC-ABS, PC-ISO, PPSF/PPSU apod. Nejvíce se používá u tiskáren materiál ABS a PLA. V této diplomové práci je využíván materiál PLA. [10]

### 2.2.1 PLA – Polylactid acid

PLA je termoplast, tedy materiál, který se zahřátím roztaví do tekuté podoby a ochlazením se stane opět pevným. Toto je nevyhnutelná vlastnost pro materiály, které používá technologie Fused deposition modeling. Existuje mnoho druhů termoplastů. Ale rozdíl je v problémech s uskladněním, plynutím materiálu přes trysku a přesností.

Tento termoplast se vyrábí z kukuřičného, bramborového škrobu nebo cukrové třtiny. PLA je biologicky odbouratelný, což je výhoda oproti ABS materiálu. Pro 3D tisk se dodává ve strunách kruhového průřezu a průměru 1,75÷2 mm. Hranice, kdy začíná tento termoplast měknout je okolo 60°C. Při tisku tímto termoplastem si uživatel může všimnout vůně připomínající smažení na rostlinném oleji. PLA není tolik náchylný k deformacím a vadám vlivem chladnutí. Není zde jednoznačný požadavek na vyhřívanou základní podložku, ale doporučuje se společně s lepidlem nebo u hobby kutilů s lakem na vlasy. Lepidlo, popřípadě lak způsobuje lepší přilnavost materiálu k základní desce. Teplota tisku se pohybuje v rozmezí 185÷235 °C. Teplota podložky 0÷60 °C.

Nevýhody:

- Sklon materiálu pohlcovat vlhkost ze vzduchu, což může způsobit bublinky na povrchu vytištěného předmětu.
- Díky nízké teplotě tání nelze dobře brousit.
- Po vytištění modelu s podporami se tyto podpory těžko odstraňují.
- Změna barvy na slunci a jeho postupné vyblednutí.

Přidáním jiných částecek do PLA lze získat materiály – Wood s částčkami dřeva, Plaste na bázi sádry, Bronzfill na bázi bronzu a Steelfill s ocelovými částčkami. Můžeme také zakoupit vodivé PLA, ovšem dimenzované pro nízký proud a napětí. Tento materiál je dodáván v mnoha barevných variantách. Cena kilogramu o průměru 1,75 mm se v roce 2018 pohybuje okolo 370 Kč. [11][12][13][14]

## 2.3 Montážní postup 3D tiskárny Anet A2

Prvním krokem při stavbě 3D tiskárny Anet A2 bylo zapotřebí zjistit, zda je stavebnice kompletní. K tiskárně je dodáván kompletní seznam dodávaných součástek, které jsou součástí balení. Díky tomuto seznamu lze provést rychlou kontrolu součástí, které byly jednoduše vybaleny z krabice a položeny na pracovní stůl viz. Obrázek č.2. Dalším bodem byla vizuální kontrola, všech dodaných součástek, zdali nejsou na první pohled porušené či jinak nezdeformované. Seznam součástí dodávaných výrobcem je kompletně sepsán a je součástí příloh diplomové práce pod názvem příloha B. Po kontrole byly v krabici s tiskárnou všechny dodané součástky neporušené. V kapitole 2.4 začíná stavba 3D tiskárny.



Obrázek č. 2 – Obsah dodaného balení

## 2.4 Instalace spodního hliníkového profilu

**Potřebné díly:** matice do T drážky M5 – 8 ks, podložka M5 – 8 ks, šroub M5 x 12 mm – 8 ks, rohové podpory rámu 4 ks., hliníkový profil 2040–400 mm – 1 ks, hliníkový profil 2040–150 mm – 2 ks (Obr.č.3).

**Pomůcky:** šroubovák 5 x 160 mm, pravítko.

V prvním kroku si připravíme a složíme rohové podpory rámu. Každá rohová podpora má dvě díry. Do těchto děr umístíme z vnitřní strany šrouby M5 x 12 mm, pod které vložíme podložky a z vnější strany našroubujeme matice pro T drážky velikosti M5. Po složení budeme mít připravené 4 kusy rohových podpor rámu se šrouby.

Dále vezmeme hliníkový profil 2040–400 mm a položíme ho na užší, tedy 20 mm boční stranu. Poté k profilu přiložíme po obou stranách hliníkové profily 2040–150 mm. Tyto pokládáme na stůl stranou, která měří 40 mm. V dalším kroku naměříme pravítkem od začátku profilu 2040–400 mm rozměr 180 mm a v této vzdálenosti přišroubujeme pomocí dvou rohových podpor se 4 šrouby první profil 2040 délky 150 mm tak, že matice M5 vložíme do spodní drážky T. Tento postup odměření a přišroubování dalších dvou rohových podpor a profilu délky 150 mm opakujeme i na druhé straně. Výsledkem je složení spodního hliníkového profilu ve tvaru kříže (Obr. č.4).



**Obrázek č. 3 – Rohové podpory, profily a pomůcky.**





Obrázek č. 4 – Spodní hliníkový profil ve tvaru kříže.

## 2.5 Instalace levé a pravé části hliníkového rámu

**Potřebné díly:** matice M5 do T drážky – 4 ks, podložka M5 – 4 ks, šroub M5 x 12 mm – 4 ks, rohové podpory – 2 ks, hliníkový profil 2040–400 mm – 1 ks, hliníkový profil 2020–400 mm – 1 ks.

V prvním bodě opět připravíme dvě rohové podpory, do kterých z vnitřní strany vložíme šrouby M5 x 12 mm a pod ně podložky. Následně z druhé strany šroubu umístíme a našroubujeme matice M5.

Dalším krokem je umístění spodního profilu ve tvaru kříže, jež byl vytvořen v minulém bodě. Z pravé strany profilu 2040–150 mm přiložíme na stojato hliníkový profil 2040–400 mm boční stranou, která má 20 mm k bližší drážce a do rohu umístíme připravenou rohovou podporu, tu vložíme do T drážek a přitáhneme oba šrouby. Po montáži této pravé strany montujeme levou, ke které potřebujeme hliníkový profil 2020–400 mm. Tento profil přiložíme na levou stranu, tedy protější stranu kříže při montáži pravé strany. Přiložíme rohovou podporu, matice umístíme do T drážky a přitáhneme oba šrouby.



Výsledkem tohoto bodu montáže je vytvoření pravé a levé strany rámu tiskárny Anet A2 (Obr.č.5)



**Obrázek č. 5 – Namontovaná pravá a levá strana rámu**

## 2.6 Instalace ložisek na upevňovací desku pro vyhřívanou podložku

**Potřebné díly:** Ložiska s plastovým okrajem – 4 ks, matice M5 – 4 ks, šroub M5 x 30 mm – 4 ks, plastový váleček s dírou M5 x 10 mm – 4 ks, upevňovací deska pro vyhřívanou podložku – 1 ks.

Upevňovací deska pro vyhřívanou podložku má ve středu 4 díry rozmístěné do obdélníku. Do těchto děr vložíme šrouby M5 x 30 mm a z druhé strany desky vložíme na šrouby plastové válečky s dírou M5 x 10 mm, poté ložisko s plastovým okrajem a zajistíme je maticemi M5.

Tento složený díl umístíme na rám nasunutím do horní drážky profilu 2040–400 mm, který leží na boční straně 20 mm. Orientace vyhřívané podložky musí být taková, aby dvě obdélníkové díry na následné umístění řemenu se nacházely přímo nad rámem, kde se tento díl pohybuje. Po vložení na rám je důležité zjistit, zdali pohyb podložky na ložiscích v drážce rámu je bezproblémový (Obr.č.6).



**Obrázek č. 6 – Uložení upevňovací desky pro vyhřívanou podložku.**

## 2.7 Instalace ložisek do Y upevňovací destičky pro ložiska

**Potřebné díly:** ložisko – 4 ks, plastový váleček s dírou M3 x 7 x 7 mm – 2 ks, matice M3 – 4 ks, šroub M3 x 30 mm – 2 ks, upevňovací deska Y pro ložiska – 1ks, šroub M5 x 12 mm – 3 ks, matice do T drážky M5 – 3 ks.

V prvním bodě montáže této podsestavy našroubujeme na šrouby M3 x 30 mm dvě matice M3 až na konec závitu k hlavě šroubu. Poté orientujeme upevňovací desku Y pro ložisko tak, aby v levé části byly dvě díry pro šrouby M3 a v pravé tři díry pro šrouby M5. V levé části otočíme upevňovací desku tak, aby vystoupilá část byla nahoře. V dalším kroku vložíme šrouby M3 do takto orientované desky. Z druhé strany přidáme na šroub plastový váleček, následně proti sobě vložíme dvě ložiska, aby vytvořily lemy na venkovních stranách a přitáhneme maticí M3. V posledním kroku přidáme do zbylých třech děr šrouby M5 x 12 mm. Hlavu šroubu orientujeme ze stejné strany jako u šroubu M3 x 30 mm. Z druhé strany vložíme na šrouby matice do T drážky M5. Tento díl (Obr.č.7). zatím na rám nemontujeme.



**Obrázek č. 7 – Y upevňovací destička s ložisky**

## 2.8 Instalace Y krokového motorku na Y upevňovací destičku

**Potřebné díly:** upevňovací destička pro Y krokový motor – 1 ks, Y krokový motor s řemenicí – 1 ks, šroub M3 x 30 mm – 1 ks, ložisko – 2 ks, plastový váleček M3 x 7 x 7 mm – 1 ks, šroub M3 x 12 mm – 3 ks, šroub M5 x 12 mm – 3 ks, matice do T drážky M5 – 3 ks.

Upevňovací Y destičku pro krokový motor položíme na stůl a orientujeme tak, že v levé části bude díra na řemenici. A vystouplá část desky je nahoře v pravé části díry pro šrouby M5. V prvním bodě montáže přidáme na takto orientovanou destičku ze zadní části krokový motor s řemenicí. Umístění motoru je takové, aby konektor pro drát byl natočen směrem ke třem dírám M5. Po orientaci krokového motorku našroubujeme šroub M3 x 12 mm do levého horního rohu, druhý šroub do levého dolního rohu a poslední do pravého dolního rohu krokového motorku.

V dalším kroku použijeme šroub M3 x 30 mm, na který až na konec závitu k hlavě našroubujeme matici M3. Na tento šroub následně vložíme proti sobě ložiska, aby vytvořily lemy na svých vnějších stranách. Po umístění ložisek na šroub vložíme plastový váleček M3 x 7 x 7 mm a tento šroub zašroubujeme do pravé horní díry krokového motorku.

Poslední krok je vložení šroubů M5 ze strany krokového motorku. Ze strany ložisek vložíme na tyto šrouby matice do T drážky M5. Tato podsestava je tímto hotová (Obr.č.8).



Obrázek č. 8 – Sestavená Y destička s krokovým motorem

## 2.9 Instalace Y osy

**Potřebné díly:** Y upevňovací destička s ložisky – 1 ks, Y upevňovací destička s Y krokovým motorem – 1 ks, řemen, plastová stahovací páska – 4 ks.

Rám tiskárny orientujeme tak, že v levé části je širší hliníkový profil 2040. Po orientaci použijeme díl Y upevňovací destičky s Y krokovým motorem a připevníme ji na konec bližšího dolního Y profilu tak, že motorek je orientován v levé straně. Připravené tři šrouby M5 zašroubujeme do rámu.

Následuje otočení rámu na stole o 180° a připevníme Y upevňovací destičku s ložisky na konec bližšího dolního Y profilu. Destička je orientována ložisky směrem k rámu a na stole leží rovnou stranou. Poté vložíme připravené matice do drážek rámu a přitáhneme šrouby.

Poslední krok je umístění řemenu do upevňovací desky vyhřívané podložky. Řemen vložíme do díry upevňovací desky vyhřívané podložky, konec řemenu přiložíme zuby do sebe a zajistíme dvěma plastovými stahovacími páskami. Řemen vedeme přes ložiska a řemenici Y krokového motoru. Poté ho protáhneme dírou uprostřed Y rámového profilu až na druhou stranu, kde je veden přes ložiska upevněná na Y destičce až k druhé díře na upevňovací desku vyhřívané podložky. Řemen protáhneme dírou a v napnutém stavu vložíme zuby do sebe a zajistíme dvěma plastovými stahovacími páskami. Zbytek řemene ustrihneme spolu s přebytky utažených plastových stahovacích pásek (Obr.č.9).



**Obrázek č. 9 – Sestava Y osy**

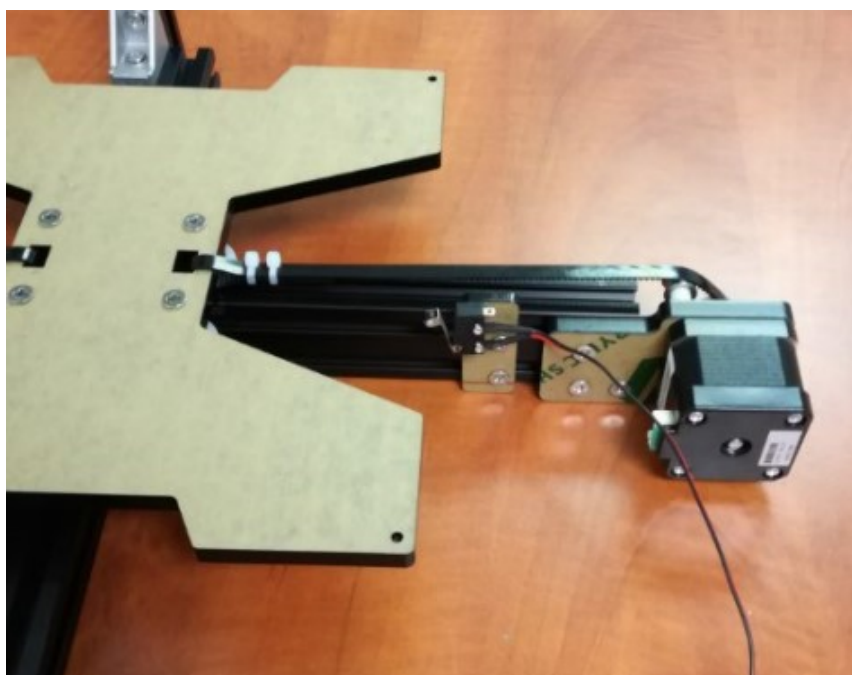
## **2.10 Instalace Y koncového spínače**

**Potřebné díly:** upevňovací destička pro Y koncový spínač – 1 ks, Y koncový spínač – 1 ks, samořezný šroub M2 – 2 ks, šroub M5 x 12 mm – 2 ks, matice do T drážky M5 – 2 ks.

Destičku pro Y koncový spínač umístíme na stůl tak, že v levé dolní části jsou dvě díry pro šroub M5 a v pravé horní části dvě díry M2. Koncový spínač umístíme na dvě díry v pravé horní části s tím, že spínací hlavice spínače se bude nacházet v pravém horním rohu. Následně můžeme přitáhnout dva samořezné šrouby M2.

Na destičku Y koncového snímače chybí namontovat pouze dva šrouby M5 x 12 mm, jejichž hlava je orientovaná ze strany koncového spínače a matice do T drážky M5 na druhé straně destičky.

V posledním kroku umístíme tuto podsestavu na Y část rámu. Matice vložíme do T drážek ze strany Y krokového motoru. Vzdálenost vymežíme pomocí pravítka, které přiložíme na řemen před Y krokový motor a přisuneme na tuto vzdálenost desku upevňovací vyhřívané podložky. V této poloze musí již být koncový spínač této osy ve stavu konečné polohy, tedy sepnutý. Po tomto nastavení přitáhneme do rámu oba šrouby M5 (Obr.č.10).



**Obrázek č. 10 – Namontovaný Y koncový spínač**

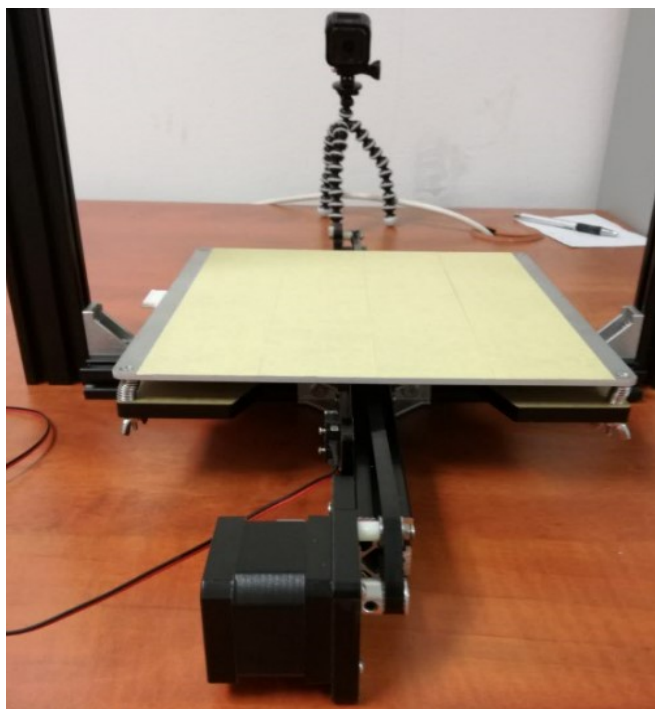
## 2.11 Instalace vyhřívané desky

**Potřebné díly:** vyhřívaná základní stavěcí deska 220 x 220 mm – 1 ks, šroub M3 x 30 mm – 4 ks, křídelnatá matice M3 – 4 ks, pružina – 4 ks.

Rám tiskárny orientujeme tak, aby vpravo byl hliníkový profil 2040. V prvním kroku se položí vyhřívaná stavěcí deska konektorem směrem k rámu 2040.



Takto orientovaná vyhřívaná podložka má v rozích díry. Do každé z těchto děr nejprve vložíme šroub M3 x 30 mm a z druhé strany této podložky umístíme na šroub pružinu. Tento šroub vložíme do díry upevňovací desky pro vyhřívanou podložku a ze spodní strany utáhneme šroub pomocí křídelnaté matice. Tento proces opakujeme u všech 4 děr (Obr.č.11). Přesné nastavení základní vyhřívané desky se provádí až při kalibraci tiskárny.



**Obrázek č. 11 – Namontována vyhřívaná deska**

## 2.12 Instalace X upevňovací desky s ložisky

**Potřebné díly:** upevňovací deska X pro ložisko – 1 ks, šroub M5 x 30 mm – 4 ks, šroub M5 x 14 mm – 4 ks, šroub M3 x 30 mm – 2 ks, matice M5 – 4 ks, matice do T drážky M5 – 4 ks, matice M3 – 4 ks, ložisko – 4 ks, plastové ložisko – 4 ks, plastový váleček M5 x 10 mm – 4 ks, plastový váleček M3 x 7 x 7 mm – 2 ks.

V této části montážního postupu si nejdříve připravíme šroub M5 x 30 mm, na který vložíme plastové ložisko a na ložisko vložíme plastový váleček M5 x 10 mm, toto opakujeme u všech 4 šroubů. Takto připravené šrouby namontujeme do upevňovací desky X pro ložiska, která je orientovaná tak, že po položení na pracovní stůl je v pravém horním rohu výstupek se dvěma dírami M3. Připravené šrouby vložíme do 4 děr M5, které tvoří obdélník a jsou po okraji desky. Z druhé strany dotáhneme matice M5 na takto připravené šrouby.

V dalším kroku si připravíme šrouby M3 x 30 mm, na které až k hlavě přišroubujeme matice M3, následně tyto šrouby vložíme do dvou horních děr M3 situovaných v pravém horním rohu. Z druhé strany na šroub vložíme plastový váleček M3 x 7 x 7 mm. Na tento váleček umístíme proti sobě ložiska tak, aby vnější strana tvořila lem. Za ložiska našroubujeme a přitáhneme matici M3.

V posledním kroku vložíme ze strany plastových ložisek šroub M5 x 10 mm a z druhé strany namontujeme matici do T drážky M5. Tento proces opakujeme u všech 4 děr situovaných ve středu desky (Obr.č.12).



Obrázek č. 12 – X upevňovací deska s ložisky

### 2.13 Instalace X motoru na X upevňovací desku.

**Potřebné díly:** upevňovací deska pro X krokový motor – 1 ks, šroub M5 x 30 mm – 4 ks, šroub M5 x 14 mm – 4 ks, šroub M3 x 30 mm – 1 ks, šroub M3 x 12 mm – 3 ks, matice M5 – 4 ks, matice do T drážky M5 – 4 ks, matice M3 – 1 ks, ložisko – 2 ks, plastové ložisko – 4 ks, plastový váleček M3 x 7 mm – 1 ks, plastový váleček M5 x 10 mm – 4 ks, X krokový motor – 1 ks.

V prvním kroku si připravíme šroub M5 x 30 mm, na který až k hlavě vložíme plastové ložisko, následně na ložisko plastový váleček M5 x 10 mm. Takto připravíme všechny 4 šrouby M5 x 30 mm. Orientace X upevňovací desky na stole je taková, že v levé části je díra pro X krokový motor a ve spodní části je výstupek. Z přední strany vložíme do děr M5 nacházejících se na obvodu pravé části vždy připravený šroub M5 x 30 mm s ložisky, plastovým válečkem a z druhé strany našroubujeme matice M5.

V dalším kroku vložíme do středu pravé části takto orientované desky 4 šrouby M5 x 14 mm a z druhé strany našroubujeme matice do T drážky M5.

Do další části si připravíme šroub M3 x 30 mm, na který až k hlavě našroubujeme matice M3. Poté na šroub nasadíme proti sobě ložiska tak, aby na vnějších stranách vytvořily lem. Za takto nasazená ložiska vložíme na šroub plastový váleček M3 x 7 mm. V posledním kroku vložíme do díry krokový motor X ze strany plastových ložisek. Zde si musíme dát pozor na konektor motoru, který musí být orientován směrem nahoru. Desku následně otočíme a v levé části máme stále umístěny motor a výstupek ukazuje směrem nahoru. Do díry v levé spodní části, pravé spodní části a levé horní části krokového motoru našroubujeme šrouby M3 x 12 mm. Do pravé horní díry našroubujeme šroub M3 x 30 mm s ložisky. Tuto podsestavu (Obr.č.13) použijeme při kompletizaci osy X.



Obrázek č. 13 – X krokový motor na X upevňovací desce.

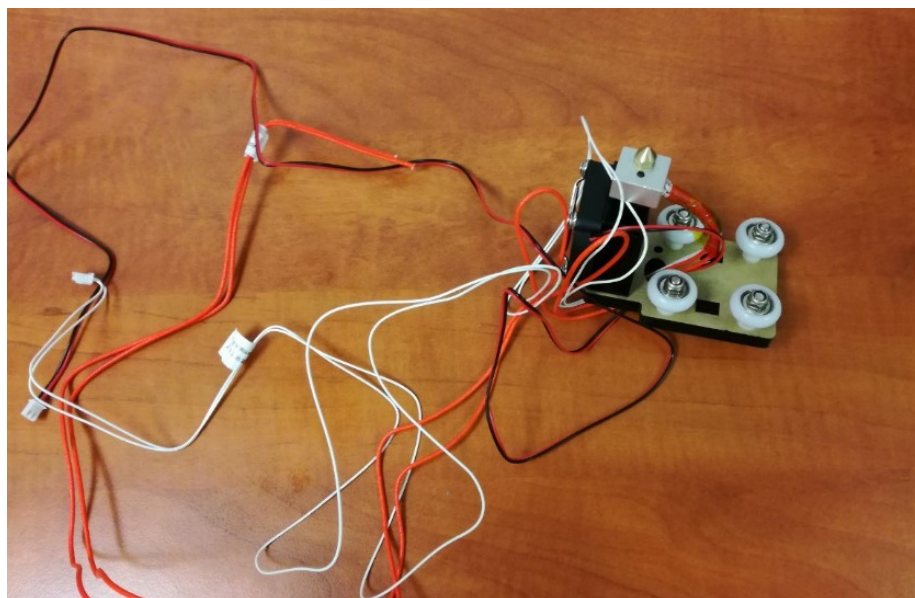
#### 2.14 Instalace upevňovací desky extruderu.

**Potřebné díly:** upevňovací deska pro extruder – 1 ks, šroub M5 x 30 mm – 4 ks, plastový váleček M5 x 10 mm – 4 ks, matice M5 – 4 ks, plastové ložisko – 4 ks, šroub M3 x 12 mm – 4 ks, extruder – 1 ks.

Orientace upevňovací desky na pracovním stole je taková, že ve spodní části je díra pro extruder a v horní části jsou po obvodu 4 díry M5. V prvním kroku protáhneme dráty extruderu ze strany stolu do druhé díry. Ze spodní strany po protažení přiložíme extruder k díře tak, že tryska extruderu je ze strany stolu a do první díry se vloží vstup pro základní materiál. Po tomto sestavení přišroubujeme extruder k desce pomocí čtyř šroubů M3 x 12 mm.



Z námi původně orientované strany vložíme do horní části na obvod šroub M5 a z druhé strany desky vložíme na šroub plastovou podložku M5 x 10 mm. Za tuto podložku plastové ložisko a tento šroub přitáhneme maticí M5. Takto sestavíme šrouby do zbylých třech děr M5. Sestavený extruder s upevňovací deskou je na obrázku č.14.



**Obrázek č. 14 – Extruder s upevňovací deskou**

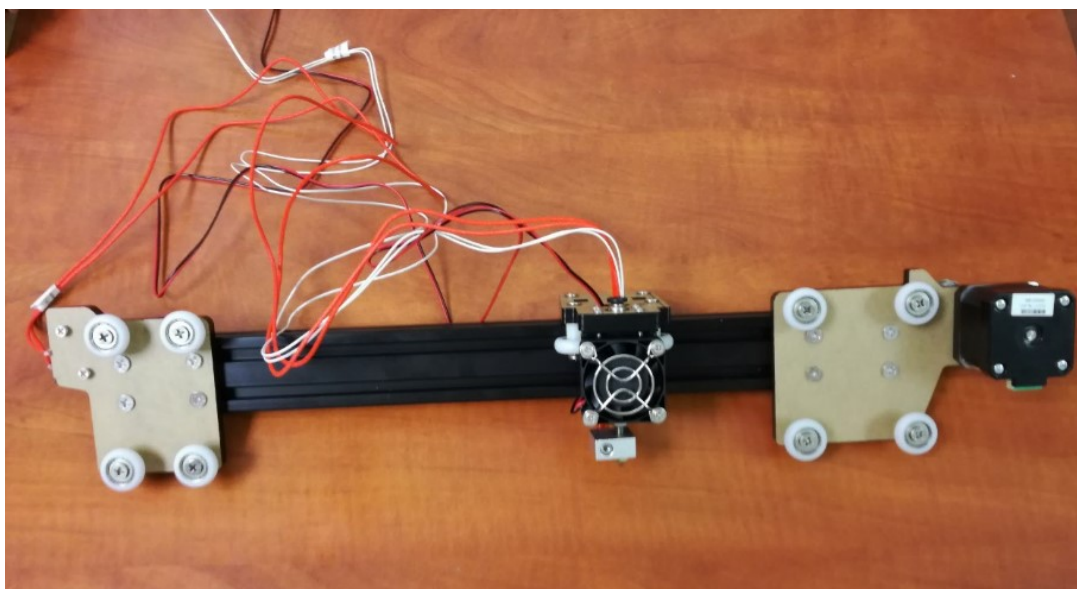
## 2.15 Instalace X osy

**Potřebné díly:** hliníkový profil 2040 x 400 mm – 1 ks, X upevňovací deska s ložisky – 1 ks, X upevňovací deska s motorem – 1 ks, upevňovací deska s extruderem – 1 ks.

Hliníkový profil položíme na stůl stranou 40 mm. Z pravé strany nasadíme X upevňovací desku s motorem tak, že do profilu míří řemenice a proti nám plastová ložiska a motor. Šrouby M5 s maticemi M5 pro T drážky přitáhneme, první dva šrouby umístěné nad sebou v drážkách jsou co nejvíce na okraji profilu.

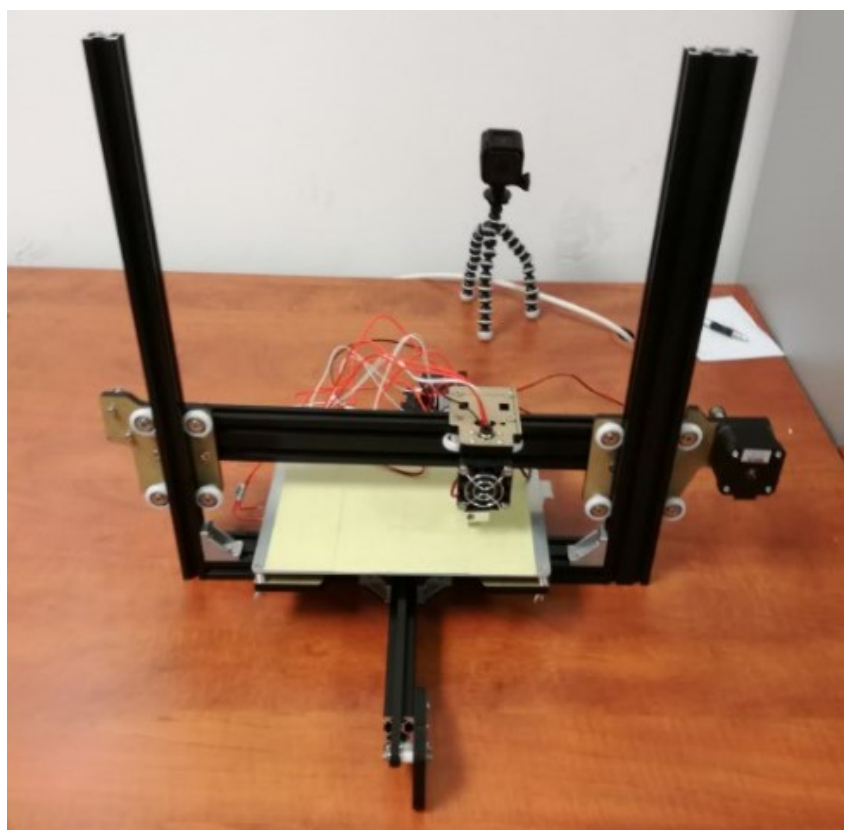
V dalším kroku na profil z levé strany nasuneme extruder tak, že větráček míří směrem k nám a ložiska umístěná na přípevňovací desce vložíme do horní drážky na profilu.

Posledním krokem je připevnění X upevňovací desky s ložisky. Desku nasadíme z levé strany na profil do drážek. Orientace je taková, že plastové ložisko míří opět proti nám a v levé horní části míří do profilu dvě obyčejná ložiska. Tuto desku opět umístíme co nejvíce na okraj drážek a přitáhneme šrouby M5 (Obr.č.15).



**Obrázek č. 15 – Sestavená osa X**

Takto sestavenou osu X vložíme na rám. Rám je orientován na stole tak, že v pravé části je profil 2040 a v levé 2020. Osu X vložíme zhora na tento rám tak, že v pravé části je X upevňovací deska s motorem a nasazená ložiska do drážky profilu míří směrem k nám. Na levou část nasuneme stejným způsobem X upevňovací desku s ložisky (Obr.č.16).



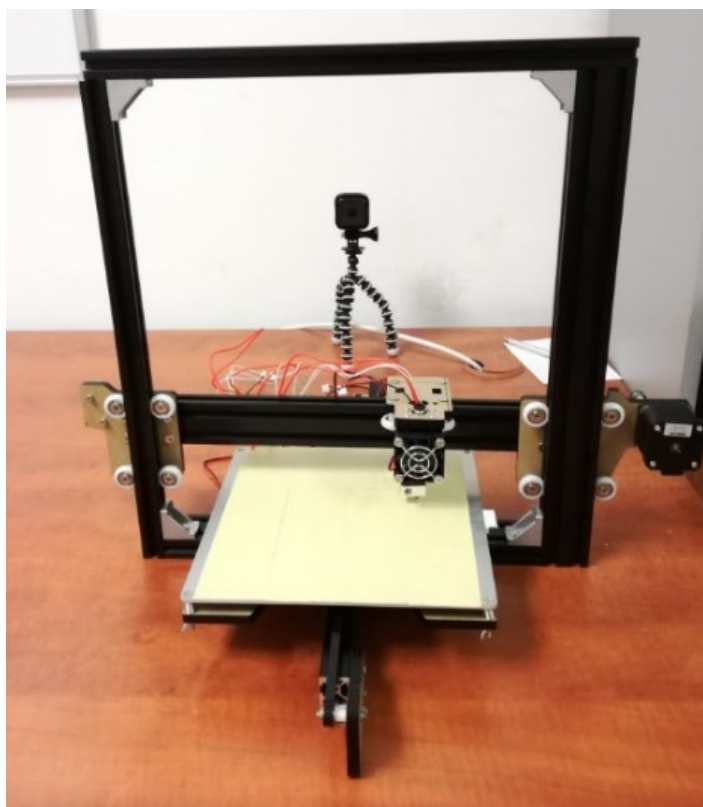
**Obrázek č. 16 – Osa X na rámu tiskárny**

## 2.16 Instalace hliníkového profilu 2020 x 380.

**Potřebné díly:** hliníkový profil 2020 x 380 mm – 1 ks, rohová podpora rámu – 2 ks, šroub M5 x 12 mm – 4 ks, podložka M5 – 4 ks, matice do T drážky M5 – 4 ks.

Nejprve si připravíme rohové podpory rámu. Z vnitřní strany podpory vložíme šroub M5 x 12 mm s podložkou a z druhé strany matici do T drážky M5. Tento postup opakujeme i u druhé díry a druhé rohové podpory.

Následně na rám tiskárny umístíme z horní části hliníkový profil 2020 a z vnitřní strany rámu umístíme rohové podpory a přitáhneme šrouby M5 s maticemi do T drážky. Tuto podporu umístíme i na protější stranu rámu a také ji zašroubujeme do rámu a přidělaného profilu 2020 (Obr. č.17). Po tomto zkompletování rámu povolíme a znovu přitáhneme šrouby na sestavené X ose, je-li to nutné tak, aby se tato osa v rámu pohybovala bez odporu.



**Obrázek č. 17– Naisnstalovaný hliníkový profil 2020 na rám.**

## 2.17 Instalace Z krokového motoru a podavače na Z upevňovací desku

**Potřebné díly:** Z upevňovací deska krokového motoru – 1 ks, Z krokový motor – 1 ks, podavač – 1 ks, šroub M3 x 12 mm – 4 ks, šroub M4 x 12 mm – 1 ks, šroub M5 x 14 mm – 3 ks, matice do T drážky M5 – 3 ks.

Na stůl si nejprve položíme Z upevňovací desku krokového motoru, tu zorientujeme tak, že v levé části je díra na Z krokový motorek. V pravé části jsou dva výřezy na podavač, v horní části je výřez, který je hlubší a zaoblený.

Nejdříve do takto orientované desky vložíme ze strany stolu podavač. Do horního hlubšího zaobleného výřezu patří výstup podavače drátu a do spodního výřezu je vložen konektor. Z přední strany desky pomocí šroubu M4 x 12 mm, který vložíme do díry v pravé horní části přišroubujeme podavač k upevňovací desce.

Do levé části ze strany stolu, tedy stejně jako podavač, vložíme Z krokový motorek do díry. Konektor motoru míří směrem ke straně, kde je menší výřez pro podavač. Tento motor zajistíme z přední strany čtyřmi šrouby M3 x 12 mm.

Následuje vložení šroubu M5 x 14 mm do třech děr ve střední části upevňovací desky. Šrouby vkládáme ze strany motoru a podavače a z přední části našroubujeme matice do T drážky M5 (Obr.č.18).



**Obrázek č. 18 – Podavač a Z krokový motor nainstalovaný na upevňovací desce**

Takto sestavenou upevňovací desku s krokovým motorem a podavačem namontujeme na rám tiskárny. Tiskárna je na stole položena tak, že v pravé části je profil 2040 a v levé části je hliníkový profil 2020. Upevňovací desku vložíme do drážky z horní části rámu na profilu 2020 v pravém horním rohu. Směrem z předního pohledu je umístěn podavač a zezadu je Z krokový motor. Upevňovací deska musí lícovat s pravým horním rohem rámu. Desku zajistíme šrouby M5 x 14 mm, které již máme v desce připravené (Obr.č.19).



**Obrázek č. 19 – Namontování Z upevňovací desky na rám**

## 2.18 Instalace Z pohybového šroubu

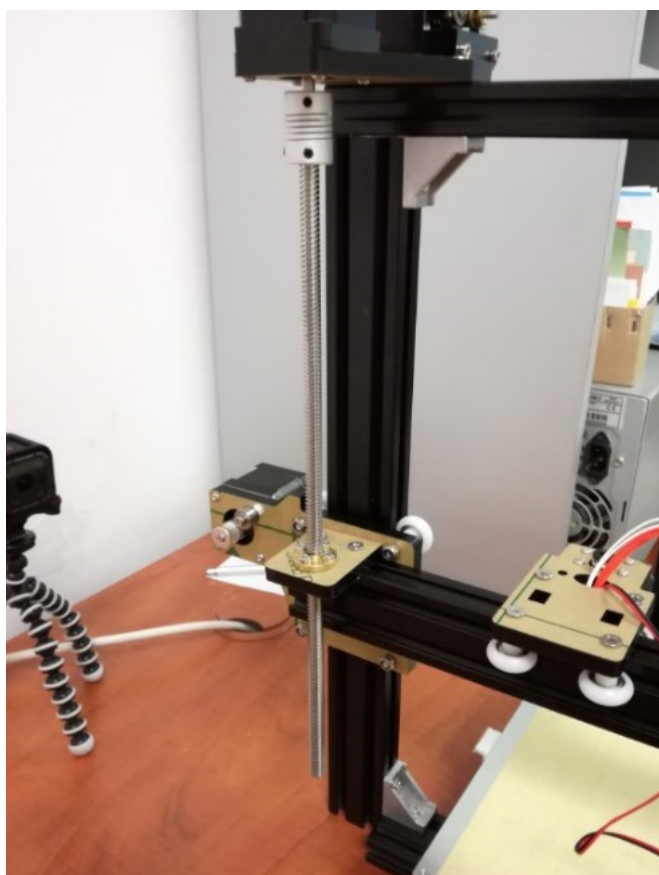
**Potřebné díly:** upevňovací deska pro matici pohybového šroubu – 1 ks, šroub M5 x 14 mm – 2 ks, matice do T drážky M5 – 2 ks, M8 pohybový šroub – 1 ks.

Na stůl položíme upevňovací desku, jejíž součástí je matice. Ze strany matice, která je přišroubována šrouby, vložíme do zbylých dvou děr šrouby M5 x 14 mm a z druhé strany našroubujeme matice do T drážky M5. Do takto sestavené upevňovací desky našroubujeme ze strany matic M5 pohybový šroub M8.

V dalším kroku na stole připravíme rám tiskárny, tentokrát v levé části je profil 2040 a v pravé části je hliníkový profil 2020.



Ve spodní části krokového motorku osy Z se nachází pružná spojka, ve které povolíme pomocí imbusového klíče dva šroubky. Do této spojky vsuneme pohybový šroub M8 tak, že matice na upevňovací desce M5 pohybového šroubu se nachází zespodu. Poté zasunutý šroub přitáhneme. Upevňovací desku s maticí vložíme do profilu 2040 X osy do její horní drážky. S osou X na pohybovém šroubu zajedeme až k pružné spojce, kde oba šrouby M5 x 14 mm na upevňovací desce přitáhneme do profilu 2040 osy X. Poté je třeba vyzkoušet, zdali je pohyb matice na šroubu bez problémů. Jestliže není, tak v dolní poloze osy X znovu přitáhneme šrouby M5 do osy X (Obr.č.20).



**Obrázek č. 20 – Matice s pohybovým šroubem na ose Z**

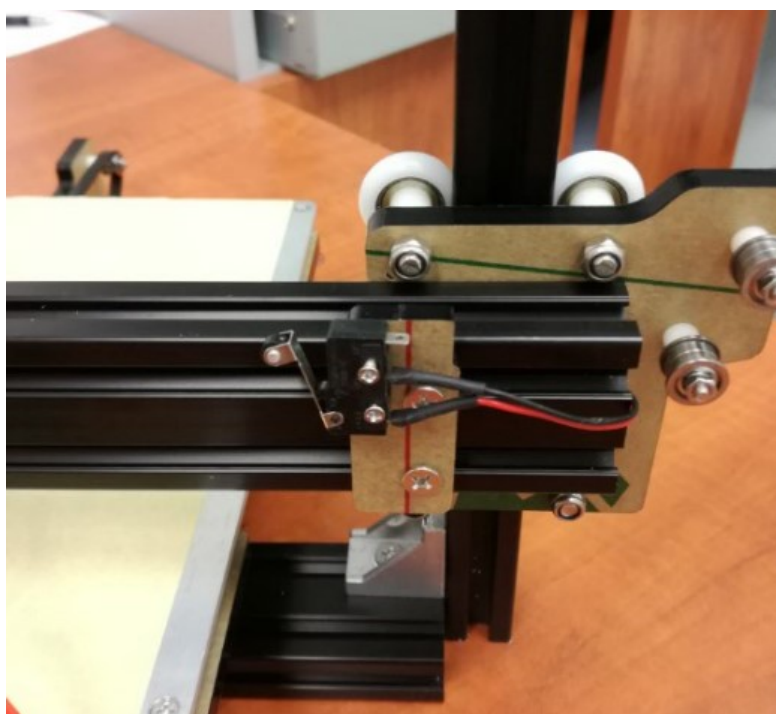
### 2.19 Instalace X koncové spínače

**Potřebné díly:** upevňovací destička pro X koncový spínač – 1 ks, X koncový spínač – 1 ks, samořezný šroub M2 – 2 ks, šroub M5 x 12 mm – 2 ks, matice do T drážky M5 – 2 ks.

Upevňovací destičku pro X koncový spínač umístíme na stůl tak, že v pravé části budou dvě díry na šrouby M5 a v levé horní části budou dvě díry na šrouby M2.

Koncový spínač umístíme na dvě díry v levém horním rohu s tou podmínkou, že spínací hlavice bude v levém horním rohu nasměrována směrem ven. Následně do obou děr našroubujeme šrouby M2. Do zbylých dvou děr vložíme ze strany koncového spínače šrouby a z druhé strany našroubujeme matice pro T drážky M5.

Takto připravený koncový spínač umístíme na osu X. Rám tiskárny otočíme tak, že na pravé straně je profil 2020 a na levé straně je profil 2040. Poté do pravé části osy X přiložíme destičku s koncovým spínačem. Spínač je namířen směrem k extruderu. Koncová poloha snímače by měla lícovat s vnitřními plastovými ložisky osy X sloužící pro pohyb osy X nahoru a dolů. Zde je koncový spínač z důvodu, aby extruder nenaboural do těchto ložisek. Po zajištění této polohy přitáhneme oba šrouby M5 do drážek osy X. Drát koncového spínače následně protáhneme středem rámu osy X na druhou stranu. (Obr. č.21)



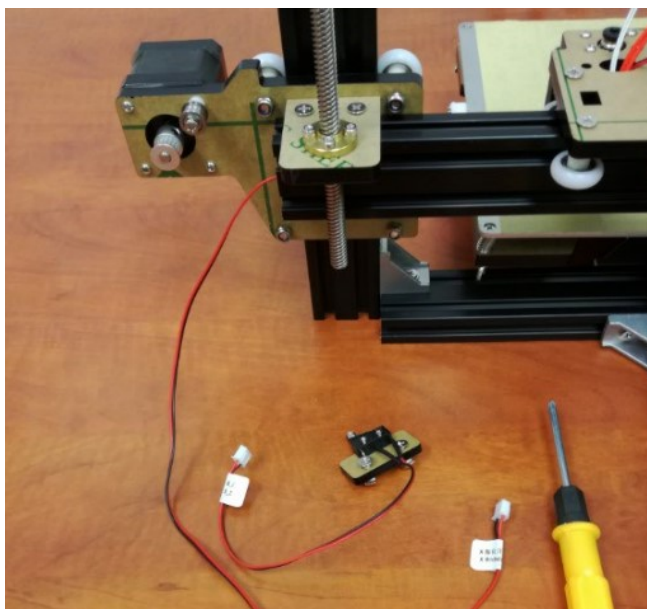
**Obrázek č. 21 – Koncový spínač osy X**

## **2.20 Instalace Z koncového spínače**

**Potřebné díly:** upevňovací destička pro Z koncový spínač – 1 ks, Z koncový spínač – 1 ks, samořezný šroub M2 – 2 ks, šroub M5 x 12 mm – 2 ks, matice do T drážky M5 – 2 ks.

Upevňovací destičku pro Z koncový spínač umístíme na stůl tak, že ve spodní části budou dvě díry M5 a v horní části dvě díry M2. Nejprve umístíme koncový spínač na díry M2 a spínací hlavice bude v levé části namířena směrem ven z destičky. Následně našroubujeme oba šrouby M2. Dalším krokem je vložení šroubu M5 x 12 mm do díry M5 ze strany koncového spínače a z druhé strany vložíme matici určenou pro T drážky M5. Tento postup opakujeme i u druhé díry.

Instalace na rám tiskárny je taková, že je tiskárna na stole umístěna tak, že v levé části je hliníkový profil 2040. Osu X spustíme až do polohy, kdy se dotkne tryska extruderu vyhřívané podložky. Do levé dolní části umístíme připravenou destičku s koncovým spínačem namířeným směrem nahoru. Destičku našroubujeme do drážek v profilu 2040 tak, že je koncový spínač v jeho koncové poloze při přidělení k X osově desce krokového motorku (Obr.č.22).



**Obrázek č. 22 – Příprava koncového spínače osy Z**

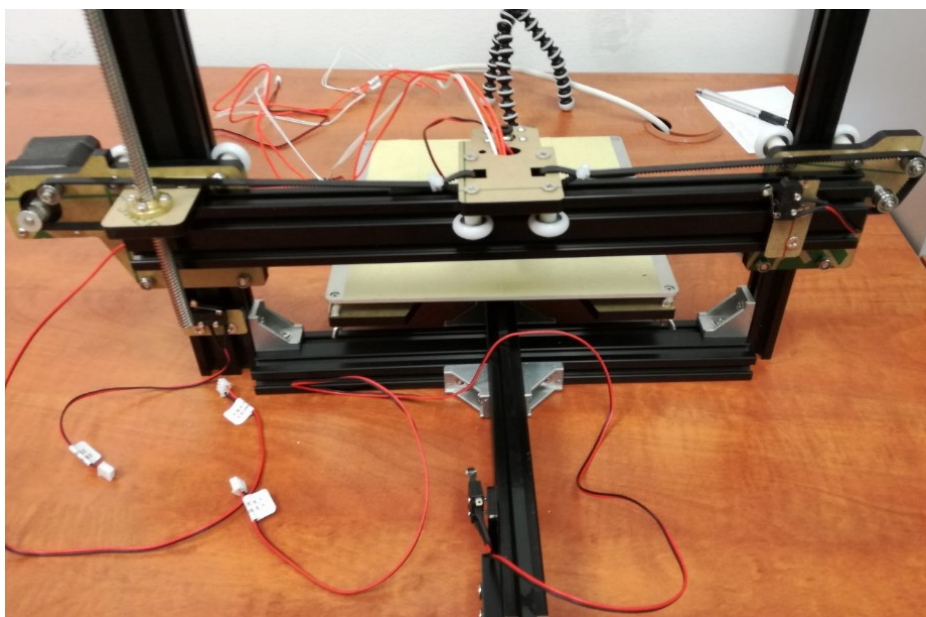
## 2.21 Instalace řemenu extruderu

**Potřebné díly:** řemen, plastová stahovací páska – 4 ks.

Nejprve protáhneme konec řemenu pravou dírou upevňovací desky extruderu. Zuby řemenu jsou z vnitřní strany. Řemen přiložíme za dírou k sobě a spojíme jej dvěma plastovými stahovacími páskami. Dále řemen protáhneme přes ložiska a řemenici X krokového motorku. Následně přes střed hliníkového profilu 2040 osy X na druhou stranu. Na této straně ho vedeme přes ložiska X upevňovací desky pro ložiska až k druhé díře na desce extruderu.



Zde jej znovu protáhneme a napneme. Takto napnutý řemen vložíme zuby do sebe a zabezpečíme pomocí dvou plastových stahovacích pásek. Přebytek řemenu a pásek nůžkami odstraníme (Obr.č.23).



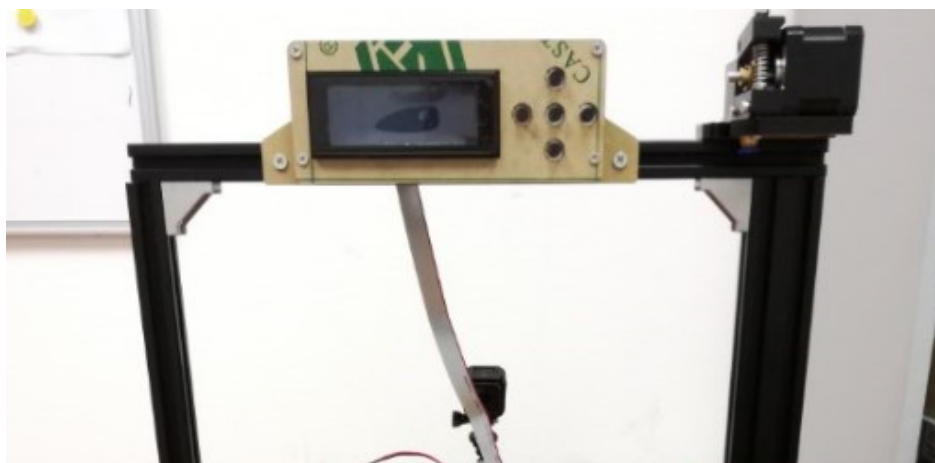
**Obrázek č. 23 – Nainstalovaný řemen extruderu**

## 2.22 Instalace LCD displeje

**Potřebné díly:** upevňovací deska pro displej – 1 ks, deska pro ochranu displeje – 1 ks, šroub M3 x 30 mm – 4 ks, plastový váleček M3 x 7 mm – 8 ks, matice M3 – 4 ks, šroub M5 x 12 mm – 2 ks, matice do T drážky M5 – 2 ks.

V prvním kroku na stůl umístíme desku pro ochranu displeje tak, že v levé části je díra na displej a v pravé části pět děr pro tlačítka k navigaci v menu tiskárny. Do takto umístěné desky vložíme po okraji do čtyř děr M3 šrouby M3 x 30 mm, z druhé strany desky vložíme na šrouby čtyři plastové válečky M3 x 7 mm. Dále na tyto šrouby vložíme displej. Do díry určené pro obrazovku přijde obrazovka a do děr pro ovládání vložíme ovládání. Následně na šrouby za displej vložíme znovu čtyři plastové válečky M3 x 7 mm. Kabel, který se nachází na zadní straně displeje protáhneme dírou v upevňovací desce pro displej. Tato deska je orientovaná tak, že širší část s dvěma dírami M5 se nachází dole. Takto orientovanou desku přiložíme na šrouby za válečky. Z druhé strany desky našroubujeme na všechny čtyři šrouby matice M3. Do dvou děr ve spodní části upevňovací desky vložíme ze strany displeje šrouby M5 x 12 mm a z druhé strany na ně matice určené pro T drážky M5.

Rám tiskárny orientujeme tak, že v pravé části je hliníkový profil 2040. Sestavený displej nasadíme na čelní stranu horního dílu rámu do drážky. Displej se snažíme vložit doprostřed tohoto profilu. Poté přitáhneme oba šrouby M5 do rámu. (Obr.č.24)



**Obrázek č. 24 – Displej namontovaný na rámu**

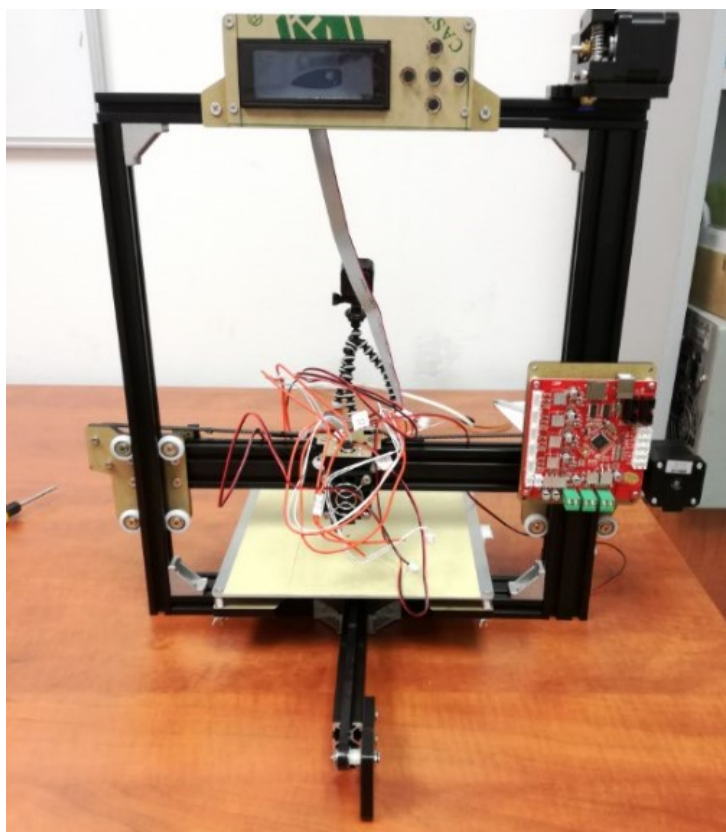
## 2.23 Instalace základové desky

**Potřebné díly:** upevňovací deska pro základovou desku zadní část – 1 ks, matice do T drážky – 4 ks, matice M3 – 4 ks, šroub M5 x 12 mm – 4 ks, šroub M3 x 18 mm – 4 ks, plastový váleček M3 x 7 mm – 4 ks.

Na stůl si připravíme upevňovací desku, kterou orientujeme tak, že dole máme kratší stranu a po okrajích delší strany. Deska má tvar obdélníku. Ve středu desky se nachází čtyři díry M5, do těchto děr vložíme šrouby M5 x 12 mm a z druhé strany desky na šrouby namontujeme matice určené do T drážky.

Dále si na stole připravíme tiskárnu. Na pravé straně máme hliníkový profil 2040 a na levé straně profil 2020. Pomocí pravítka si na profil 2040 nacházející se vpravo odměříme vzdálenost od stolu 110÷120 mm. V této poloze se bude nacházet spodní kratší strana obdélníkové desky. Matice vložíme do T drážek a přitáhneme všechny čtyři šrouby M5 x 12 mm.

Posledním bodem instalace základní desky je montáž samotné základní desky. Desku otočíme tak, aby konektor na USB byl v horní části. V rozích základní desky jsou čtyři díry, do těchto vložíme šrouby M3 x 18 mm, z druhé strany desky na šrouby vložíme plastové válečky M3 x 7 mm. Takto připravené šrouby vložíme do upevňovací desky a z druhé strany našroubujeme čtyři matice M3.(Obr.č.25)



**Obrázek č. 25 – Namontovaná základní deska k rámu**

## 2.24 Instalace spojovacích desek rámu

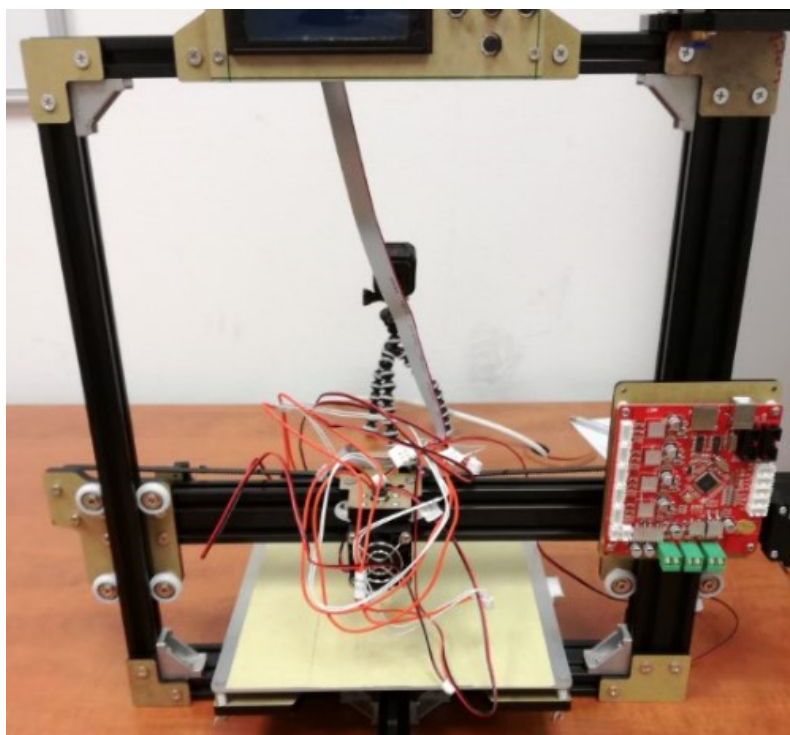
**Potřebné díly:** upevňovací deska 1 – 2 ks, upevňovací deska 2 – 2 ks, šroub M5 x 12 mm – 10 ks, matice do T drážky M5 – 10 ks.

Nejprve na stůl umístíme upevňovací desku 1, která má dvě díry M5 a tvar L. Do této upevňovací desky vložíme šrouby M5 x 12 mm a z druhé strany našroubujeme matice určené pro T drážky M5. Toto opakujeme i u druhé upevňovací desce 1.

Následuje příprava upevňovací desky 2. První upevňovací desku 2 položíme na stůl tak, že v pravé části má dvě díry a v levé části pouze jednu díru. Z této strany ukládáme tři šrouby M5 x 12 mm a z druhé strany desky se montují matice určené do T drážky M5. Druhou upevňovací desku 2 položíme na stůl tak, že v levé části má dvě díry a v pravé části jednu díru. Z této strany vkládáme šrouby M5 x 12 mm do děr a z druhé strany desky montujeme matice určené pro T drážky M5.

Takto připravené desky budeme umísťovat na rám. Tiskárnu připravíme na stole tak, že na pravé straně je hliníkový profil 2040 a vlevo profil 2020. Začínáme montáží upevňovací desky 1 vlevo dole. Desku vložíme do levého dolního rohu do drážek a přitáhneme šrouby. To samé opakujeme mezi profilem 2020 a 2020 v levém horním rohu, kde přišroubujeme druhou upevňovací desku 1 k rámu.

Následně montujeme do pravého dolního rohu upevňovací desku 2 tak, že do drážky profilu, který leží na podložce vložíme jeden šroub a do profilu v pravé části 2040 vložíme do dvou drážek dva šrouby a přitáhneme. Poslední upevňovací desku 2 vložíme do pravého horního rohu. Jeden šroub vložíme do drážky profilu 2020 a další dva šrouby znovu do pravé části rámu 2040 a tyto šrouby přitáhneme k rámu (Obr.č.26).

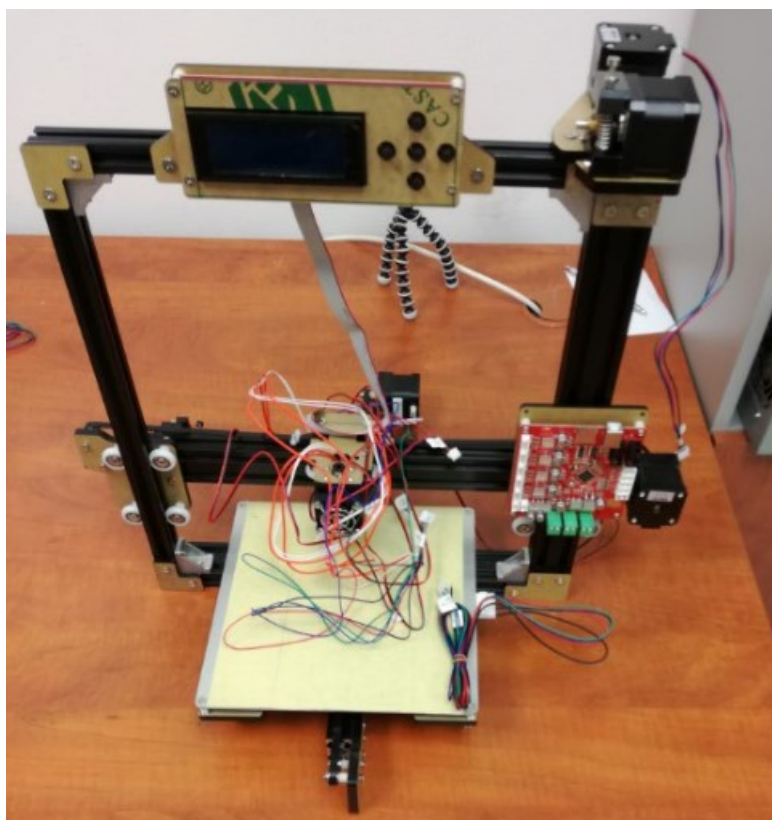


Obrázek č. 26 – Namontované rohové výstuhy rámu

## 2.25 Připojení elektroniky

**Potřebné díly:** kabel pro vyhřívanou desku – 1 ks, kabel pro Y krokový motor – 1 ks, kabel pro Z krokový motor – 1 ks, kabel pro X krokový motor – 1 ks a kabel pro podavač materiálové struny – 1 ks.

Dodané kabely jsou již popsány pomocí štítků. Kabely zapojíme zatím pouze do krokových motorků X, Y, Z, podavače základního materiálu a vyhřívané základní desky (Obr.č.27). Druhý konec těchto kabelů nezapojujeme do základové desky. Tento krok provedeme až po zapáskování kabelů k sobě.



**Obrázek č. 27 – Připojení elektroniky**

## 2.26 Zapáskování kabelů

**Potřebné díly:** páskovací chránič kabelů 3 m – 1 ks, ploché těsnění rámu 30 cm – 1 ks, kleště.

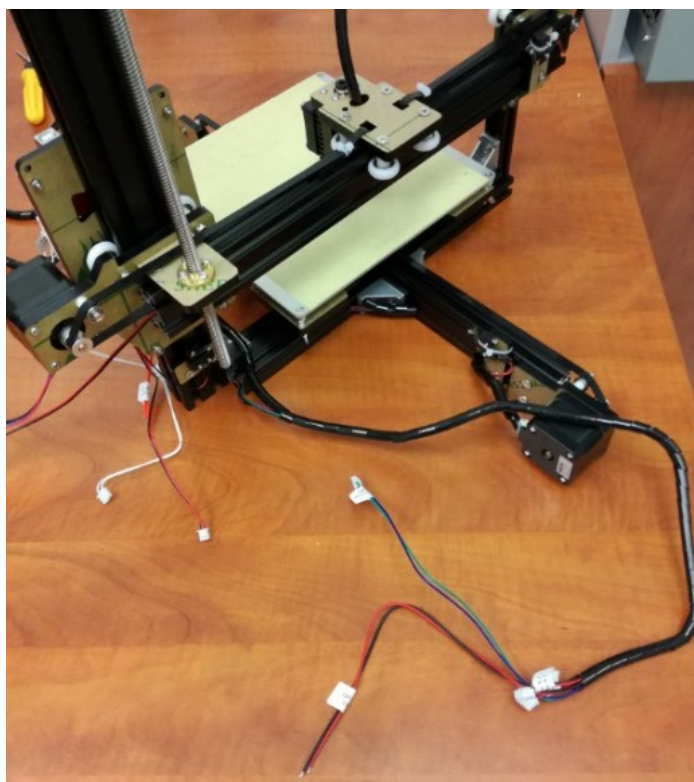
První páskování kabelu je z extruderu po délce k zadní části LCD displeje. V této části přidáme do páskovacího chrániče kabel LCD displeje. Dále do tohoto svazku přidáme kabel Z krokového motoru a podavače základního materiálu. Všechny tyto kabely se zapáskují asi 10 cm od konce těchto kabelů, aby se mohly zapojit do základové desky.

Další svazek začíná přípravou 10 cm dlouhé chráničky. Do chráničky přidáme kabel z Y koncového motoru a Y koncového vypínače. Tyto kabely vedeme následně spodním rámem v T drážce až po Z hliníkovou část rámu s koncovým spínačem. Tyto kabely se v rámu zakrytují pomocí plochého těsnění rámu.

Dále páskujeme kabely vyhrávané základní desky, který vedeme až k Z koncovému spínači. V této části přidáme kabel Y koncového spínače, Y krokového motoru a Z koncového spínače. Kabely zapáskujeme až těsně před jejich koncem (Obr.č.28).

Poslední páskování je pro kabel X motoru a X koncového spínače, jehož kabel vychází z rámu. Tyto kabely znovu zapáskujeme v chráničce až těsně před konec.



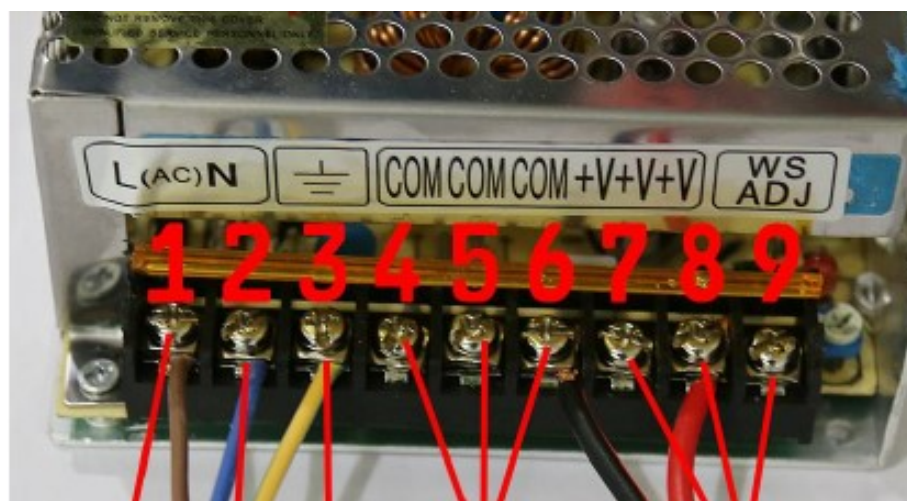


**Obrázek č. 28 – Paskování Y koncového spínače a motorku.**

## 2.27 Připojení zdroje

**Potřebné díly:** napájecí kabel 1,5 m – 1 ks, napájecí zdroj 12 V; 240 W – 1 ks, kabel ze zdroje do základové desky 1 – 1 ks.

Při zapojení napájecího kabelu do napájecího zdroje postupujeme podle (obr.č.29). Tři konce napájecího kabelu se zasunou pod šroubky do zdroje podle příslušné barvy. Hnědý pod první šroubek, modrý pod druhý šroubek a žlutý pod třetí šroubek. Následně se zašroubují pod šroubky číslo šest černý vodič a pod šroubek číslo osm červený vodič. Tento vodič slouží k propojení základové desky a napájecího zdroje 3D tiskárny Anet A2.

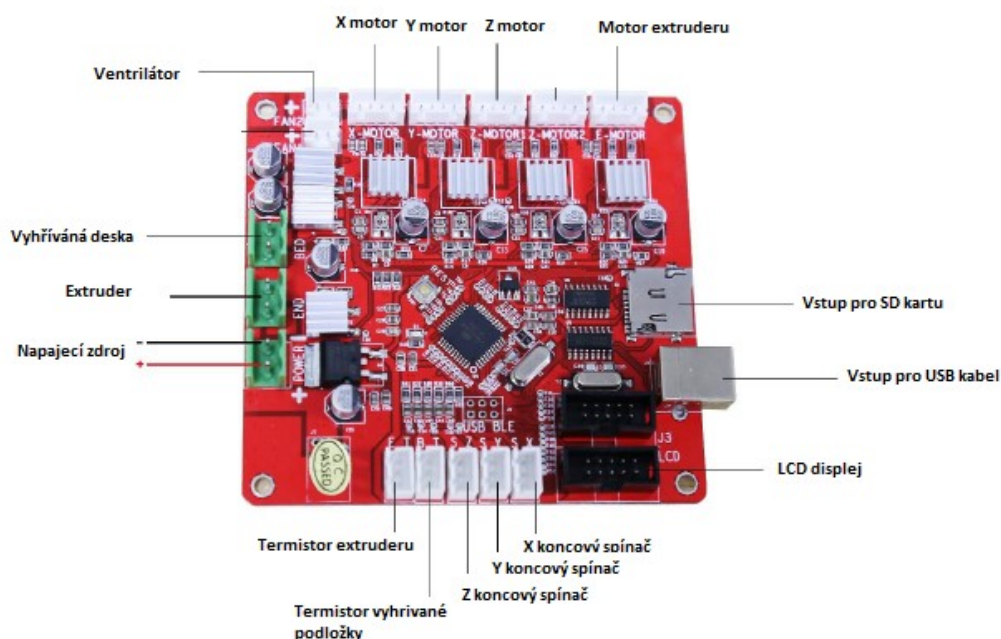


Hnědý "1" Modrý "2" Žlutý "3" Černý "6" Červený "8"

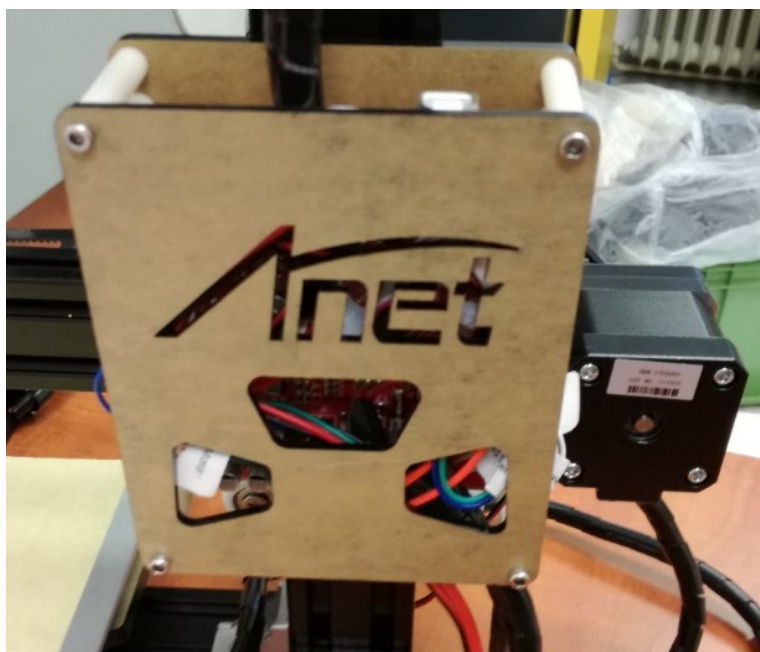
Obrázek č. 29 – Schéma zapojení zdroje 12V

## 2.28 Zapojení základní desky

Na závěr stavby 3D tiskárny Anet A2 se zapojí všechny kabely od elektroniky této tiskárny do základní desky. Toto zapojení bylo provedeno podle (Obr.č.30). Po zapojení veškeré elektroniky zbývá pouze zakrytovat základní desku. Zakrytování základní desky je provedeno pomocí předního krytu (Obr.č.31). Následuje již ověření, zda tiskárna funguje a posledním krokem je kalibrace před samotným prvním tiskem na složené tiskárně.



Obrázek č. 30 – Schéma zapojení základové desky



**Obrázek č. 31 – Zakrytovaná základní deska**

## 2.29 Kalibrace Z osy

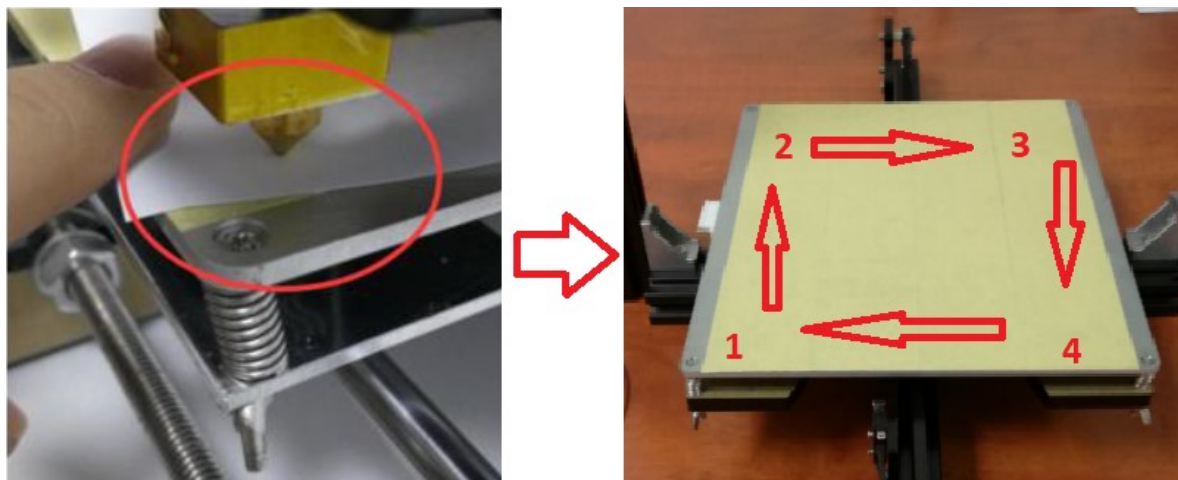
Po zapojení 3D tiskárny do zdroje elektrického proudu musíme provést prvotní kalibraci Z osy. Tato kalibrace je důležitá z důvodu nastavení vzdálenosti trysky od tiskové vyhřívané základní plochy. Ke kalibraci potřebujeme pouze obyčejný kancelářský papír.

Po spuštění tiskárny otevřeme pomocí manuálního ovládání u displeje záložku rychlé nastavení „Quick setting“. V této záložce vybereme možnost automaticky domů „auto home“ tedy pozice nulového bodu tiskárny. Většina 3D tiskáren v tomto kroku vypne pouze krokové motorky a může ručně kalibrovat. Bohužel 3D tiskárna Anet A2 tuto možnost vypnutí krokových motorků v nastavení nikde nemá. Proto při přijetí do pozice nulového bodu musíme tiskárnu odpojit od zdroje elektrického proudu.

Teď již můžeme s vyhřívanou podložkou libovolně pohybovat. Základní podložka má tvar čtverce, který má v každém svém rohu nastavovací šroub s pružinou a křídelnatou maticí. Postupujeme tak, že mezi trysku extruderu a základní desku vložíme kancelářský papír (obr.č.32 vlevo). Poté pohybuje extruderem po podložce v bodech, kde se nachází šrouby (obr.č.32 vpravo). V každém tomto bodě musíme základní tiskovou plochu nastavit pomocí šroubu tak, aby kancelářský papír nebyl volný, ani nebyl silně přitlačován extruderem k této ploše. Musíme nastavením dosáhnout mírného tlaku mezi papírem a základní podložkou.



Kalibrace se nemusí provádět před každým tiskem. Stačí vždy kalibrovat základní podložku před prvním tiskem. Začne-li se při tisku objevovat problém s prvními tištěnými vrstvami, tak je vhodné znovu zkalibrovat základní vyhřívanou podložku.

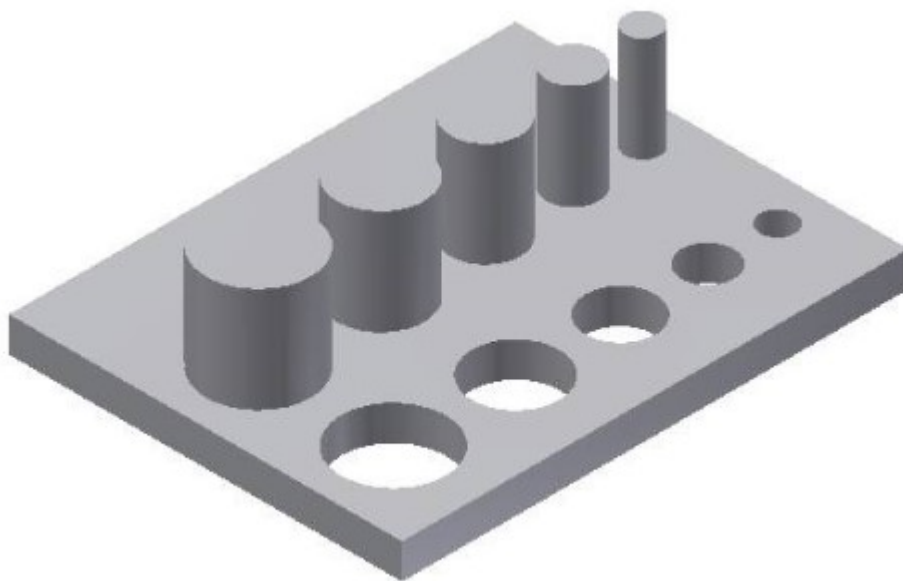


**Obrázek č. 32 – Kalibrace vyhřívané základní podložky**

### 3.Návrh modelu a metodika hodnocení kvality 3D tisku

#### 3.1 Popis tištěného vzorového modelu

Pro zpracování praktické části diplomové práce byl vytvořen model, který je universální (Obr.č.33). Model, pomocí kterého se v praktické části porovnávají tiskárny, je vytvořen s ohledem na spotřebu materiálu, měřitelnost a čas. Testovací součást je vymodelována v Autodesk Inventor 2015 výuková verze.



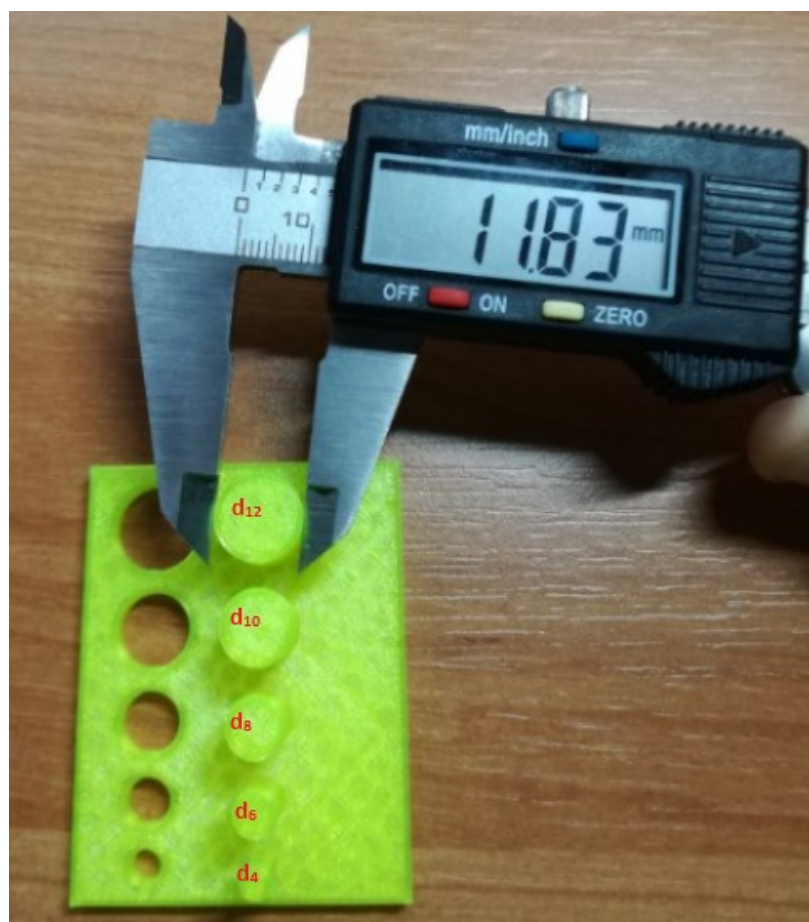
**Obrázek č. 33 – Vzorový model**

Pro testování a porovnávání tiskáren byl zvolen jako hlavní způsob porovnávání měření. Z tohoto důvodu se na modelu vyskytuje pět děr s různými průměry. Nejmenší průměr je 4 mm a největší 12 mm, odstupňováno po 2 mm. Kromě těchto děr se na tištěné součásti vyskytuje pět válečků. Tyto válečky mají stejný průměr jako díry. Válečky vystupují z podstavy. Podstava má výšku 4 mm, což odpovídá i hloubce děr. Výška válečků od vrcholu podstavy je 12 mm. Takto vytvořené válečky a díry jsou umístěny na obdélníkové podstavě. Obdélníková podstava je 58 mm dlouhá a 45 mm široká. Testovací model bude na každé porovnávané tiskárně vytištěn pětkrát z důvodu statistického zpracování. Na modelu se bude kontrolovat průměr každé díry a každého válečku pětkrát.

Model je zapotřebí převést z formátu Autodesk Inventor IPT do formátu STL. Formát STL popisuje trojrozměrnou povrchovou geometrii modelu, kterou podporují programy 3D tiskáren. Výkres modelu je součástí příloh diplomové práce jako příloha A.

### 3.2 Postup hodnocení tištěného modelu

Pro hodnocení tištěných vzorků bylo vybráno měření. K měření bylo využito digitální posuvné měřidlo o rozsahu 0 – 150 mm s přesností 0,01 mm. Na navrženém modelu byl sledován každý průměr válečku a díry. Tato kontrola se prováděla pětkrát, vždy v náhodně zvolených místech, rozložených na měřeném prvku rovnoměrně. Na modelu jsou rozděleny měřené válečky na  $d_4$ ,  $d_6$ ,  $d_8$ ,  $d_{10}$ ,  $d_{12}$  (Obr.č.34). Označení  $d$  znamená průměr válečku a dolní index udává velikost průměru.



Obrázek č. 34 – Měření válečků

Díry jsou označeny také příslušným modelovaným průměrem s dolním indexem, který označuje jeho velikost navrženou v programu Autodesk Inventor 2015 výuková verze a odlišeny od válečku velkým písmenem  $D_4$ ,  $D_6$ ,  $D_8$ ,  $D_{10}$ ,  $D_{12}$ . (Obr.č.35).



**Obrázek č. 35 – Měření děr**

Rozměrová přesnost u 3D tisku se na hobby úrovni v podstatě neřeší. Většinou jde pouze o vzhled vytištěného modelu. V této diplomové práci je využito měření z důvodu odlišení přesnosti tisku na vzájemně testovaných tiskárnách. Při tisku všech modelů jsou použity na tiskárnách totožné tiskové parametry, které budou zmíněny v kapitole 3.3.

Na rozměrovou přesnost má významný vliv také hodnota lineárního smrštění základního materiálu tisku. Lineární smrštění materiálů ABS je  $\alpha_L = 73,8 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$  a pro používaný materiál v této diplomové práci PLA má hodnotu lineárního smrštění  $\alpha_L = 30 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$ , což je lepší [20]. Ke změně rozměru dochází také vlivem deformace, která vzniká během chladnutí. Deformace během chladnutí může také způsobit chyby v geometrických parametrech. Jako příklad tohoto problému může být odlepování okrajů modelu od základní podložky u materiálu ABS, což se projevuje hlavně v prvních třech objemnějších vrstvách modelu, které jsou povětšinou tvořeny 100 % základního materiálu. Rozměrovou přesnost ovlivňuje mnohem více proměnných.

Obecně je FDM nejméně přesná 3D technologie tisku a je nejvhodnější pro prototypy s nízkými náklady, kde je tvar důležitější než přesnost. Většinou je udávaná rozměrová tolerance této technologie  $\pm 1\%$ . Za nejpřesnější rozměr je u modelu považován rozměr ve směru osy Z. Přesnost ovlivňují také materiálové podpory, které lze odstranit. Většinou jsou nezbytné hlavně tam, kde se nachází převisy větší než  $45^\circ$ . [21]

### 3.3 Parametry tisku

Parametry tisku je nutné nastavit shodně u všech tiskáren při generování G-codu, aby se modely mezi jednotlivými tiskárnami daly porovnávat. Některé programy pro generování G – codu dovolují nastavit i to, co jiná tiskárna nepodporuje nebo nedokáže se s takovými parametry vyrovnat. Proto se v této diplomové práci zaměřuji nastavením základních parametrů, které jsou stěžejní u všech programů podporujících generování G – codu. Parametry nastaveny pro tisk každého modelu jsou zobrazeny v tabulce níže (Tab. č.1).

Tab. č.1. Parametry tisku použité v experimentální části

Základní materiál [-]	basic materiál [-]	PLA
Průměr základního materiálu [mm]	diameter of the base material [mm]	1,75 mm
Tloušťka vrstvy [mm]	Layer heigh [mm]	0,2 mm
Teplota extruderu [°C]	Print temperature [°C]	210 °C
Teplota vyhřívání podložky [°C]	Bed temperature [°C]	50 [°C]
Rychlost tisku [mm/s]	Print speed [mm/s]	40 mm/s
Procentuální výplň modelu [%]	Fill density [%]	60 %
Počet plných vrstev [-]	number of full layers [-]	5

### 3.4 Vzorový výpočet parametru $d_4$

Z důvodu lepší orientace v diplomové práci byly hodnoty měření a veškeré výpočty všech testovacích modelů zařazeny do přílohy, jako příloha C. V textové části je uveden pouze příklad výpočtu průměru  $d_4$  u vzorku číslo 1. z tiskárny Anet A2. V elektronické příloze C je tento výpočet součástí výpočtu všech válečků na vzorku číslo 1. označen jako Anet A2 – vz.1 – válečky. Naměřené hodnoty k výpočtu průměru  $d_4$  jsou v tabulce níže (Tab. č.2). Zbylé vytištěné vzorky z tiskáren byly zpracovány a vypočteny v tabulkovém procesoru Microsoft Excel 2016. V textové části diplomové práce jsou dále pouze tabulky s výsledky. Všechny výpočty jsou součástí kapitoly číslo 4. Součástí kapitoly 5.3 je zhodnocení rozměrové přesnosti.

Tab. č.2. Naměřené hodnoty všech válečků vzorku číslo 1. Anet A2

Č.M. (n)/parametr	d4 [mm]	d6 [mm]	d8 [mm]	d10 [mm]	d12 [mm]
1.	3,58	5,62	7,72	9,65	11,66
2.	3,6	5,61	7,7	9,63	11,72
3.	3,62	5,59	7,62	9,66	11,7
4.	3,7	5,59	7,65	9,64	11,65
5.	3,6	5,6	7,71	9,65	11,64
Σ	18,1	28,01	38,4	48,23	58,37
Aritmetický průměr	3,62	5,602	7,68	9,646	11,674

Vzor výpočtu výběrového průměru a směrodatné odchylky parametru d<sub>4</sub>,

Rozměrová přesnost:

a) Výběrový průměr

$$\bar{x}_{d4} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.1)$$

Parametr průměru d<sub>4</sub>

$$\bar{x}_{d4} = \frac{1}{5} \cdot 18,1 \quad (3.2)$$

$$\bar{x}_{d4} = 3,62 \text{ mm} \quad (3.3)$$

b) Výběrová směrodatná odchylka

$$s(x_{d4}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_{d4})^2}{n-1}} \quad (3.4)$$

Parametr průměru d<sub>4</sub>

$$\Delta d_{41} = (d_{41} - \bar{x}_{d4})^2 = (3,58 - 3,62) = 0,0016 \text{ mm}^2 \quad (3.5)$$

$$\Delta d_{42} = (d_{42} - \bar{x}_{d4})^2 = (3,6 - 3,62) = 0,0004 \text{ mm}^2 \quad (3.6)$$

$$\Delta d_{43} = (d_{43} - \bar{x}_{d4})^2 = (3,62 - 3,62) = 0 \text{ mm}^2 \quad (3.7)$$

$$\Delta d_{44} = (d_{44} - \bar{x}_{d4})^2 = (3,7 - 3,62) = 0,0064 \text{ mm}^2 \quad (3.8)$$

$$\Delta d_{45} = (d_{45} - \bar{x}_{d4})^2 = (3,6 - 3,62) = 0,0004 \text{ mm}^2 \quad (3.9)$$

Tab.č.3. Rozdíl naměřené a průměrné hodnoty

Č.M.(n)/parametr	$\Delta d$ [mm]	$\Delta d^2$
1.	-0,04	0,0016
2.	-0,02	0,0004
3.	0	0
4.	0,08	0,0064
5.	-0,02	0,0004
$\Sigma$	0	0,0088

Parametr průměru  $d_4$

$$s_{d4} = \sqrt{\frac{0,0088}{4}} \quad (3.10)$$

$$s_{d4} = 0,0469 \text{ mm} \quad (3.11)$$

c) Průměrová směrodatná odchylka dílčích aritmetických průměrů

$$s_{(\bar{d4})} = \frac{s_{d4}}{\sqrt{n}} \quad (3.12)$$

Parametr průměru  $d_4$

$$s_{(\bar{d4})} = \frac{0,0469}{\sqrt{5}} \quad (3.13)$$

$$s_{(\bar{d4})} = 0,0210 \text{ mm} \quad (3.14)$$

d) Kombinovaná standartní nejistota

$k$  – studentův koeficient pro správnost výsledků s pravděpodobností 95% a příslušným počtem měření  $n=5$  je roven  $k=2,640$

$$U_c = k \cdot U_A = k \cdot s_{(\bar{d4})} \quad (3.15)$$

Parametr průměru  $d_4$

$$U_{d4} = 2,640 \cdot 0,0210 \quad (3.16)$$

$$U_{d4} = 0,06 \text{ mm} \quad (3.17)$$

e) Výsledná hodnota

Parametr průměru  $d_4$

$$d_4 = (\bar{x}_{d4} \pm U_{d4}) \quad (3.18)$$

$$d_4 = (3,62 \pm 0,06) \text{ mm} \quad (3.19)$$



### 3.5 Vizuální hodnocení povrchu modelu

Dalším způsobem hodnocení modelů vytištěných na porovnávaných 3D tiskárnách je vizuální zhodnocení. U tisku metodou FDM tedy extruze plastů, která je používána spíše pro tisk prototypů je vzhled modelu důležitější než přesnost. Z hlediska vizuálního vjemu je nejlepší plocha stýkající se bezprostředně s tiskovou podložkou, vykazující nejhladší povrch na modelu. Jestliže je tisková plocha vyhřívána, dojde k téměř dokonalému propojení vláken. Povrch modelu kopíruje povrch této základní tiskařské vyhřívané podložky.

V této kapitole si rozdělím model na tři pohledy, boční pohled, pohled shora a celkový vzhled modelu po vytištění. Pro hodnocení použiji všechny vytištěné modely (Obr.č.36). U porovnávání vzhledu jsem využíval bodové hodnocení, v mém případě je 5 bodů maximum pro danou kategorii a minimum bodů v dané kategorii je 0. Výše zmíněné pohledy budou popsány v dalších kapitolách.



Obrázek č. 36 – Vytiskované modely

### 3.5.1 Boční pohled

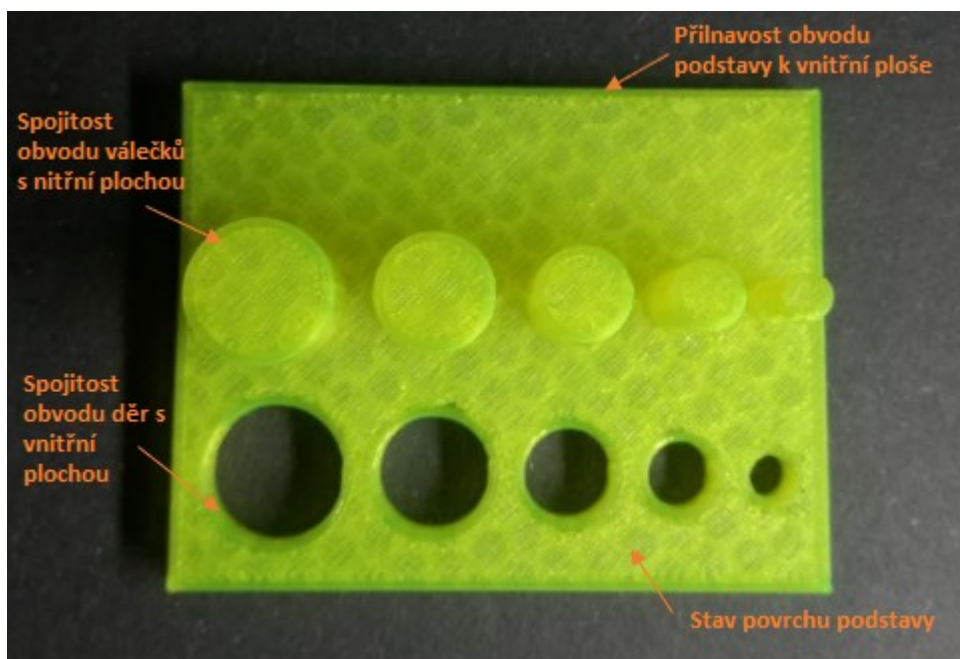
Do bočního pohledu jsem zařadil stav okrajových hran podstavy a vertikální hrany okraje válečků (Obr.č.37). U okrajových hran podstavy jsem sledoval spojení jednotlivých vrstev a celkový stav těchto hran. Vertikální hrany okraje válečku sleduji z důvodu měření, zdali je spojení vrstev dokonalé a nevyskytují se zbytky základního materiálu, tedy plastu PLA na obvodu. Popřípadě jestli nenastalo posunutí vrstev v osách X a Y, což by vadilo při měření, protože by vznikly nepravidelné zuby na těchto okrajích.



**Obrázek č. 37 – Boční pohled na model**

### 3.5.2 Pohled shora

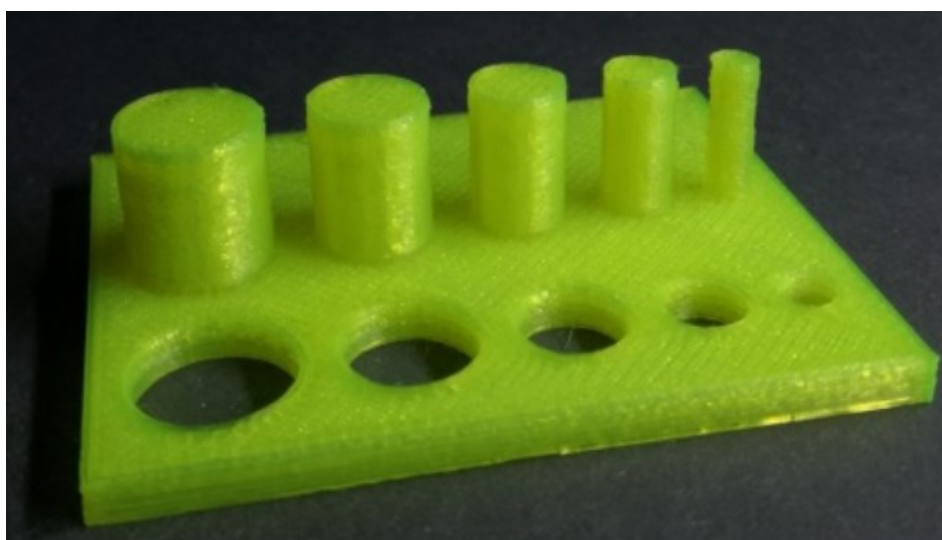
Do pohledu shora jsem zařadil přilnavost horního obvodu k vnitřní ploše, spojitost obvodu válečků s vnitřní plochou, spojitost obvodu děr s vnitřní plochou a stav povrchu modelu (Obr.č.38). U přilnavosti obvodu podstavy k vnitřní ploše sleduji, jestli nenastal problém s odlepováním obvodu od vnitřní plochy modelu a nenastala jejich nespojitost. Spojitost obvodu válečků s vnitřní plochou válečků a spojitost obvodu děr s vnitřní plochou podstavy sleduji z důvodu měření, protože u některých součástí může nastat problém s odlepením obvodu od plochy, která je tvořena 100 % materiálu. Což může způsobit jejich nespojitost a ovlivní tak měřený rozměr při změně tlaku na měřidlo při měření. Stav povrchu modelu sleduji na povrchu podstavy a povrchu válečků, zda se zde nevyskytují vady v podobě děr.



**Obrázek č. 38 – Pohled na model shora**

### 3.5.3 Celkový vzhled po vytištění

V tomto bodě se zaměřuji na celkový pohled na součást po dokončení tisku (Obr.č.39). Což je velmi důležité, jestliže vytištěný model je bez zbytků základního materiálu a nevykazuje žádné vady na okrajích. Tento model následně nepotřebuje žádné povrchové úpravy a lze jej použít bez odstraňování vad z povrchu například pomocí broušení či chemického odstranění. Tento další krok nás stojí čas, peníze, přesnost modelu a také možnost poškození modelu.



**Obrázek č. 39 – Celkový pohled na model**

## 4. Porovnání tisku vzorového modelu na vybraných 3D tiskárnách.

### 4.1 Použité tiskárny v praktické části

V současné době je nabídka a výběr 3D tiskáren velmi široká. Na trhu jsou tiskárny řazeny mezi hobby a tiskárny na profesionální úrovni. Zásadním rozdílem tiskáren bývají parametry, jako je množství použitých tiskařských materiálů, cena tiskárny atd. Rozdíl je také v tom, zdali je tiskárna dodávaná jako celek nebo jako rozložená stavebnice, kterou si musí uživatel sám složit. Další důležité parametry jsou rychlost tisku, přesnost, velikost tiskové plochy, hlučnost a počet trysek. Porovnávacích parametrů při koupi tiskárny je ještě mnohem více.

Většinou při koupi je z různých důvodů omezující rozpočet. Tiskárny se například na čínském trhu pohybují již od 80 USD za stavebnici technologie FDM, což odpovídá asi 1760 Kč. Na trhu se však dají pořídit i výše zmiňované profesionální tiskárny, které se u technologie FDM „Fused Deposition Modeling“ pohybují v desítkách až stovkách tisíc.

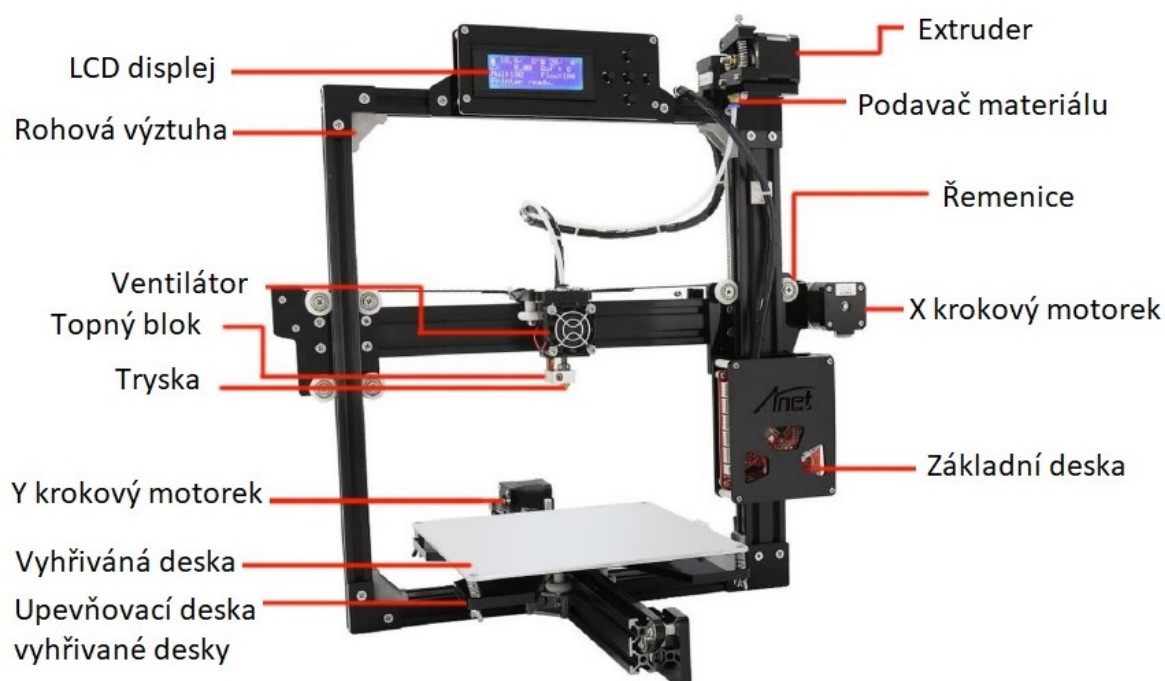
V dalších podkapitolách budou představeny použité tiskárny v experimentální části. U tiskáren budou uvedeny základní parametry, cena a obrázek příslušné tiskárny. Součástí jsou vždy také dvě tabulky s výsledky naměřených hodnot pro válečky a díry modelů vytištěných na příslušné tiskárně.

### 4.2 Tiskárna Anet A2

Anet A2 (Obr.č.40) je tiskárna, která byla zakoupena na čínském trhu jako stavebnice. Rám tiskárny je složen z hliníkových profilů. Rám je vyztužen rohovými výztuhami, které mají tvar L. Na rám se přidávají destičky z dřevotřísky, na kterých jsou namontovány krokové motorky, extruder, základová deska a koncové spínače. Pohyblivé části se v rámu pohybují pomocí ložisek s plastovým vnějším obalem. Hlavní pohyb u tiskárny koná extruder, který se pohybuje v ose X a koná také pohyb v ose Z. Základní vyhřívaná stavěcí podložka se pohybuje pouze v ose Y. V této diplomové práci je také popsán celý montážní postup stavby 3D tiskárny Anet A2 v kapitole číslo 2. Montáž tiskárny Anet A2. V Tab. č.4 lze vidět základní parametry tiskárny Anet A2.

Tab. č.4. Parametry tiskárny Anet A2 [1]

Počet trysek	1
Vyhřívaná základní podložka	Ano
Velikost pracovní plochy (dálka x šířka x výška)	220 mm x 220 mm x 220 mm
Rychlost tisku	max. 100 mm/s
Výška vrstvy	0,1-0,3 mm
Podporované tiskařské materiály	ABS, PLA
Cena včetně DPH a CLA	5 700 Kč



Obrázek č. 40 – Tiskárna Anet A2 [1]

#### 4.2.1 Tabulky výsledků měření modelů z tiskárny Anet A2

Vybrané parametry již zmíněny v kapitole 3.2 jsou uvedeny v tabulce včetně nejistoty měření. Tabulka je zvlášť pro měření válečků (Tab. č.5) a další tabulka je pro měření děr (Tab. č.6). Výsledky statistického zpracování hodnot, které jsem naměřil na pěti modelech vytištěných na tiskárně Anet A2 jsou součástí těchto dvou tabulek.

Tab.č.5. Výsledky měření válečků z tiskárny Anet A2

Parametr	Vzorek č.1 [mm]	Vzorek č.2 [mm]	Vzorek č.3 [mm]	Vzorek č.4 [mm]	Vzorek č.5 [mm]	CAD [mm]
<b>d4</b>	(3,62±0,06)	(3,63±0,04)	(3,64±0,05)	(3,64±0,05)	(3,72±0,03)	4
<b>d6</b>	(5,6±0,02)	(5,56±0,04)	(5,67±0,03)	(5,61±0,04)	(5,74±0,04)	6
<b>d8</b>	(7,68±0,05)	(7,69±0,04)	(7,63±0,03)	(7,59±0,05)	(7,77±0,04)	8
<b>d10</b>	(9,65±0,01)	(9,59±0,05)	(9,50±0,05)	(9,64±0,03)	(9,79±0,05)	10
<b>d12</b>	(11,67±0,04)	(11,68±0,04)	(11,46±0,03)	(11,66±0,05)	(11,62±0,06)	12

Tab.č.6. Výsledky měření děr z tiskárny Anet A2

Parametr	Vzorek č.1 [mm]	Vzorek č.2 [mm]	Vzorek č.3 [mm]	Vzorek č.4 [mm]	Vzorek č.5 [mm]	CAD [mm]
<b>D4</b>	(3,84±0,04)	(3,78±0,04)	(3,74±0,05)	(3,70±0,02)	(3,79±0,04)	4
<b>D6</b>	(5,8±0,03)	(5,75±0,03)	(5,84±0,05)	(5,8±0,03)	(5,82±0,04)	6
<b>D8</b>	(7,84±0,04)	(7,85±0,05)	(7,85±0,04)	(7,86±0,04)	(7,82±0,04)	8
<b>D10</b>	(9,84±0,03)	(9,88±0,01)	(9,76±0,05)	(9,78±0,04)	(9,88±0,04)	10
<b>D12</b>	(11,86±0,04)	(11,85±0,04)	(11,82±0,04)	(11,85±0,02)	(11,90±0,04)	12

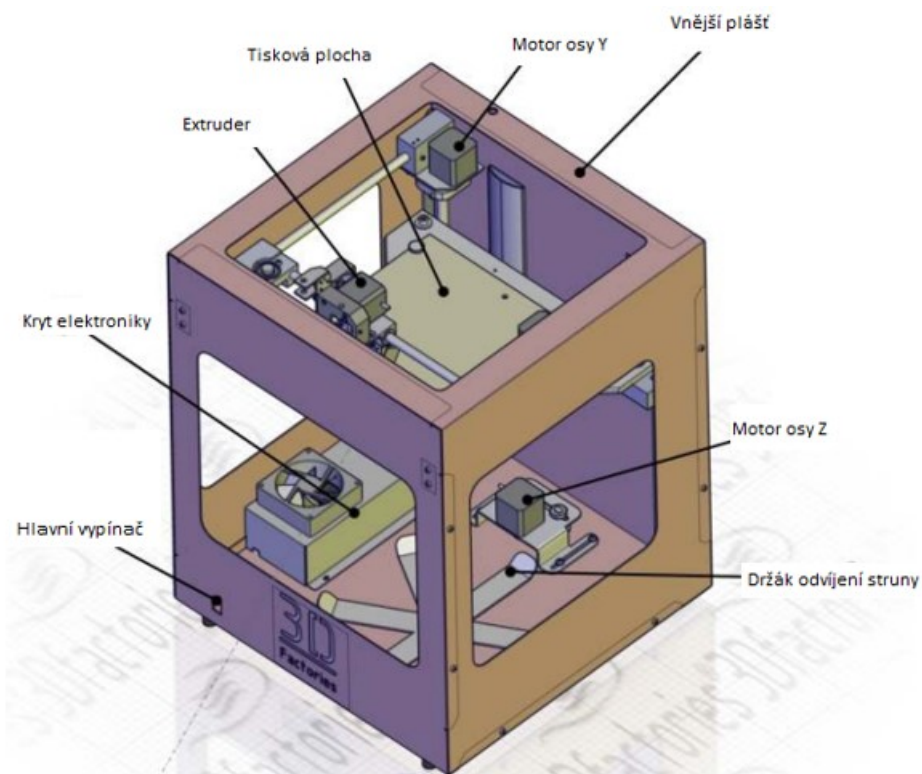
### 4.3 EASY3DMAKER 3D tiskárna

Tato 3D tiskárna bývá dodávána složená jako celek (Obr. č.41). Tiskárna má celokovový plášť. Tuto tiskárnu jsem již podrobně popsal v mé bakalářské práci s názvem Strategie 3D tisku tiskárny EASY3DMAKER v kapitole 4.1 3D tiskárna – EASY3DMAKER. V Tab.č.7 jsou vypsány základní parametry tiskárny EASY3DMAKER. [22]

Tab.č.7. Parametry tiskárny EASY3DMAKER [2]

Počet trysek	1
Vyhřívaná základní podložka	Ano
Velikost pracovní plochy (délka x šířka x výška)	200 mm x 200 mm x 230 mm
Rychlost tisku	max. 80 mm/s
Výška vrstvy	0,08/0,125/0,25 mm
Podporované tiskařské materiály	PLA/ABS
Cena včetně DPH	39 988 Kč





**Obrázek č. 41 – Tiskárna EASY3DMAKER [2]**

#### 4.3.1 Tabulka výsledků měření modelů z tiskárny EASY3DMAKER

V následujících dvou tabulkách jsou statisticky zpracovány výsledky měření modelů vytištěných na tiskárně EASY3DMAKER. Výsledky pro válečky jsou součástí (Tab. č.8) a výsledky pro díry v (Tab. č.9).

Tab. č.8. Výsledky měření válečků z tiskárny EASY3DMAKER

Parametr	Vzorek č.1 [mm]	Vzorek č.2 [mm]	Vzorek č.3 [mm]	Vzorek č.4 [mm]	Vzorek č.5 [mm]	CAD [mm]
<b>d4</b>	(4,43±0,05)	(4,36±0,05)	(4,41±0,05)	(4,26±0,04)	(4,37±0,06)	4
<b>d6</b>	(6,33±0,04)	(6,34±0,05)	(6,31±0,06)	(6,40±0,07)	(6,38±0,03)	6
<b>d8</b>	(8,30±0,02)	(8,30±0,03)	(8,38±0,05)	(8,26±0,07)	(8,39±0,04)	8
<b>d10</b>	(10,25±0,03)	(10,26±0,08)	(10,34±0,04)	(10,29±0,08)	(10,23±0,03)	10
<b>d12</b>	(12,22±0,04)	(12,37±0,05)	(12,30±0,06)	(12,35±0,04)	(12,27±0,03)	12

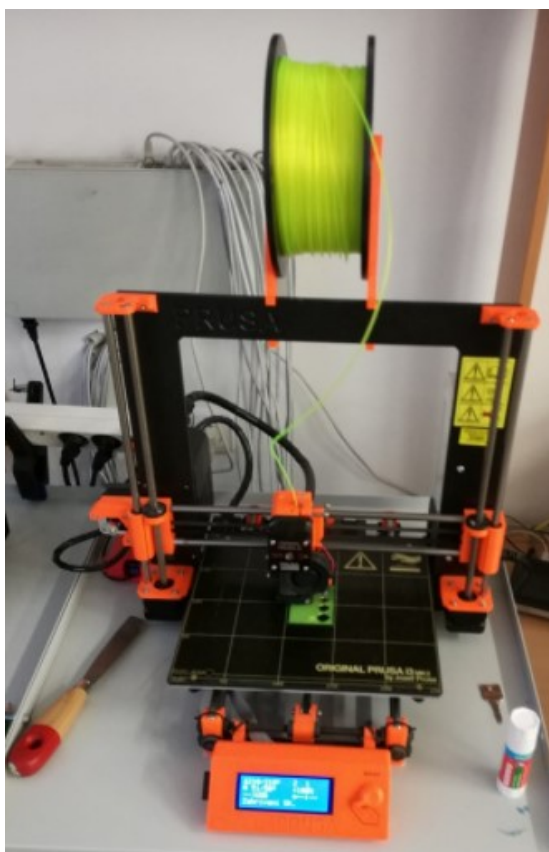


Tab. č.9. Výsledky měření děr z tiskárny EASY3DMAKER

Parametr	Vzorek č.1 [mm]	Vzorek č.2 [mm]	Vzorek č.3 [mm]	Vzorek č.4 [mm]	Vzorek č.5 [mm]	CAD [mm]
<b>D4</b>	(3,17±0,05)	(3,51±0,06)	(3,15±0,02)	(3,37±0,04)	(3,38±0,08)	4
<b>D6</b>	(5,21±0,05)	(5,25±0,05)	(5,31±0,03)	(5,30±0,06)	(5,29±0,06)	6
<b>D8</b>	(7,31±0,06)	(7,23±0,06)	(7,28±0,04)	(7,20±0,05)	(7,33±0,07)	8
<b>D10</b>	(9,23±0,06)	(9,42±0,06)	(9,26±0,07)	(9,34±0,05)	(9,34±0,05)	10
<b>D12</b>	(11,17±0,05)	(11,31±0,04)	(11,34±0,04)	(11,09±0,03)	(11,24±0,06)	12

#### 4.4 Prusa i3 MK2S

Prusa Research vznikla v 2009 v oblasti Rep Rap projektu. Všechny produkované tiskárny od této společnosti jsou open source, což znamená že konstrukční plány produktů jsou plně k dispozici online. Společnost Josefa Průši se sídlem v Praze přišla na trh s modelem i3 MK2S (Obr.č.42) s množstvím chytrých funkcí, které ji odlišují od podobných tiskáren v tomto cenovém rozpětí. Tiskárna Prusa i3 MK2S se navíc v žebříčku 3D Printing Industry Trends Q3-2016 umístila v kategorii Budget na prvním místě. Další prvenství získala tiskárna pro rok 2017 v časopise MAKE, což znamená že tato tiskárna předběhla nejvýkonnější a trendy tiskárny v tomto roce. [16]



Obrázek č. 42 – Tiskárna Prusa i3 MK2S

Tiskárna je dodávána jako stavebnice nebo kompletní sestava. Produkt se neliší, jen je rozdílná jeho cena, která je nižší u produktu rozloženého na stavebnici. Tato tiskárna má většinu komponentů vytištěnou. Tiskařská farma firmy obsahuje k roku 2018 již 300 tiskáren, které běží 24 hodin denně, aby stihla firma Prusa Research vyřídit poptávku zákazníků z celého světa. V roce 2015, kdy firma začínala tisklo komponenty na farmě 15 tiskáren. Tiskařská farma je název pro místo, kde má firma tiskárny, které vytváří většinu plastových komponentů pro nové 3D tiskárny. Dochází zde k takzvané sebereplikaci.

Jednou z nejpůsobivějších vlastností je vyhřívání základní stavěcí podložka MK42, která má mnohem více funkcí než jen vyhřívání. Vyhřívání podložka je tlustá PCB (deska s plošnými spoji) a s tenkou PEI folií. Tato plocha se rychle zahřívá a rychle ochlazuje a má výbornou přilnavost k loži. V praxi to znamená, že při tisku modelu uživatel tiskárny nemusí na základní podložku nanášet žádné přidržovací lepidlo či lak na vlasy, což je u ostatních typů tiskáren v této cenové relaci zcela normální a běžné. Základní stavěcí deska je navíc velmi lehká. Na této ploše jsou kalibrační body, které mohou kompenzovat šikmou osu. V kombinaci s indukční sondou pro automatické vyrovnávání a kalibraci podložky. Součástí Tab. č.10 níže jsou základní parametry tiskárny. [16][17][18]

Tab. č.10. Parametry tiskárny Prusa i3 MK2S [18]

Počet trysek	1
Vyhřívání základní podložka	Ano
Velikost pracovní plochy (délka x šířka x výška)	250 mm x 210 mm x 200 mm
Rychlost tisku	max. 150 mm/s
Výška vrstvy	0,05/0,1/0,2/0,25 mm
Podporované tiskařské materiály	PLA, ABS, PET, HIBS, FLEX PP a víc.
Cena včetně DPH	15 990 Kč

Tiskárna je během používání stále výrobcem vylepšována, buď jde o vylepšení zdarma či za poplatek. Jedná se buď o komponenty, které si sami uživatelé dotisknou. Další způsob je update tiskárny, který si musí uživatel dokoupit z důvodu vylepšení či přidání elektroniky a komponentů. Vůbec nejzajímavější novinkou u této tiskárny je, že dokáže tisk čtyř materiálů najednou. Vylepšení se nazývá Original Prusa i3 MK2 Multi Material. Vylepšení dodá tiskárně další tři podavače materiálu a stále máme pouze jednu trysku extruderu. Toto řešení je průlomové, odstraňuje totiž problémy jiných tiskáren při kalibraci dvou až čtyř extruderů s tryskami. Prusa Research v současné době již prodává nový model i3 MK3. [19]

#### 4.4.1 Tabulka výsledků měření modelů z tiskárny Prusa i3 MK2S

Součástí této podkapitoly jsou dvě tabulky se statisticky zpracovanými výsledky pro danou tiskárnu. První (Tab. č.11) je s výsledky měření válečků a druhá (Tab. č.12) je pro výsledky měření děr na modelu.

Tab. č.11. Výsledky měření válečků z tiskárny Prusa i3 MK2S

Parametr	Vzorek č.1 [mm]	Vzorek č.2 [mm]	Vzorek č.3 [mm]	Vzorek č.4 [mm]	Vzorek č.5 [mm]	CAD [mm]
<b>d4</b>	(3,86±0,06)	(3,88±0,04)	(3,85±0,04)	(3,85±0,02)	(3,85±0,02)	4
<b>d6</b>	(5,86±0,04)	(5,88±0,03)	(5,85±0,03)	(5,84±0,02)	(5,86±0,03)	6
<b>d8</b>	(7,84±0,04)	(7,87±0,05)	(7,83±0,01)	(7,85±0,02)	(7,83±0,02)	8
<b>d10</b>	(9,82±0,01)	(9,83±0,03)	(9,83±0,03)	(9,85±0,03)	(9,82±0,01)	10
<b>d12</b>	(11,81±0,02)	(11,82±0,02)	(11,83±0,04)	(11,84±0,03)	(11,81±0,02)	12

Tab. č.12 Výsledky měření děr z tiskárny Prusa i3 MK2S

Parametr	Vzorek č.1 [mm]	Vzorek č.2 [mm]	Vzorek č.3 [mm]	Vzorek č.4 [mm]	Vzorek č.5 [mm]	CAD [mm]
<b>D4</b>	(3,86±0,04)	(3,81±0,01)	(3,88±0,03)	(3,9±0,02)	(3,82±0,02)	4
<b>D6</b>	(5,92±0,04)	(5,85±0,03)	(5,89±0,03)	(5,92±0,02)	(5,86±0,02)	6
<b>D8</b>	(7,88±0,02)	(7,88±0,01)	(7,93±0,03)	(7,92±0,03)	(7,88±0,01)	8
<b>D10</b>	(9,91±0,04)	(9,89±0,02)	(9,92±0,05)	(9,93±0,02)	(9,89±0,05)	10
<b>D12</b>	(11,96±0,03)	(11,9±0,05)	(11,94±0,02)	(11,93±0,04)	(11,92±0,02)	12

## 5. Celkové Zhodnocení

Celkové hodnocení bude rozděleno podle ekonomického zhodnocení. Další je podle vizuálního zhodnocení a poslední hodnocení je podle rozměrové přesnosti na tištěných modelech. Ve zhodnocení a porovnání je stavěná tiskárna Anet A2 společně s tiskárnami EASY3DMAKER a Prusa i3 MK2S.

## 5.1 Ekonomické zhodnocení

V této kapitole bych chtěl porovnat cenu tiskáren. Cena tiskárny je důležitá z důvodu zakoupení zařízení do malých firem a popřípadě do garáží domácích kutilů. Tento parametr je důležitý pro závěrečné hodnocení porovnávaných tiskáren. Uživatel si musí ujasnit k jakému účelu 3D tiskárnu kupuje. Nepotřebuje-li vysokou přesnost a zaleží mu jen na vizuálním vzhledu modelu stačí investovat do tiskárny dodávané z Číny, kde je v nabídce velké množství tiskáren za velmi nízké pořizovací ceny.

Nejnižší pořizovací cenu z porovnávaných tiskáren má na trhu stavebnice 3D tiskárny Anet A2 s cenou 5 700 Kč. Cena tiskárny Anet A2 je vyšší než 170 USD, proto se stahuje na toto zboží navíc DPH 21% a CLO cca 15%. Cena této tiskárny je v dubnu 2018 již na 142 USD tedy tiskárna by již nepodléhala CLU. Druhá nejnižší cena připadá na stavebnici 3D tiskárny od firmy Prusa Research tedy porovnávaná tiskárna Prusa i3 MK2S s cenou 15 990 Kč. Nejvyšší cena připadá kompletně dodávané a sestavené tiskárně EASY3D MAKER s pořizovací cenou 39 988 Kč.

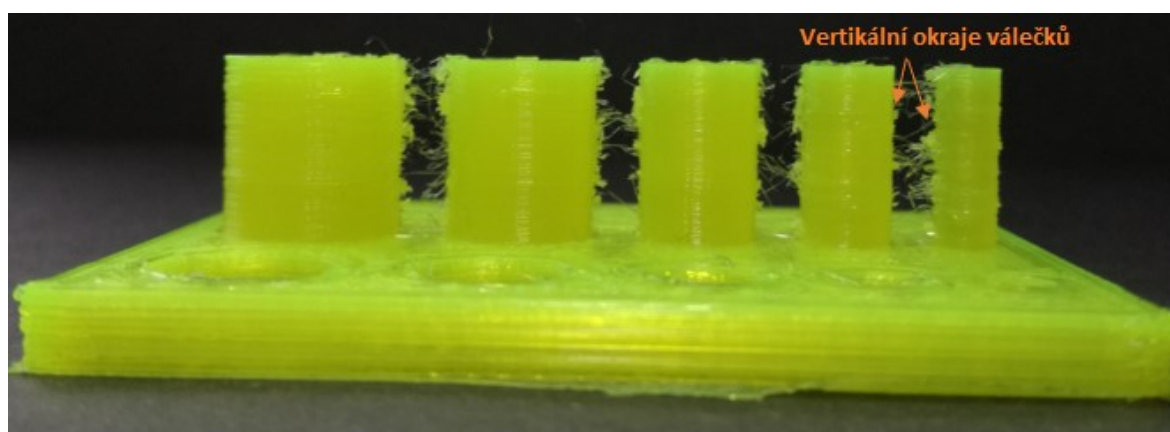
## 5.2 Vizuální zhodnocení

Po vytištění samotných modelů na tiskárnách, lze při prvním porovnání říct, jak si modely z tiskáren ve vzájemném porovnání stojí. Většina vizuálních rozdílů je patrná na první pohled. Toto porovnání je popsáno v kapitole 3.5 Vizuální porovnání povrchu modelu.

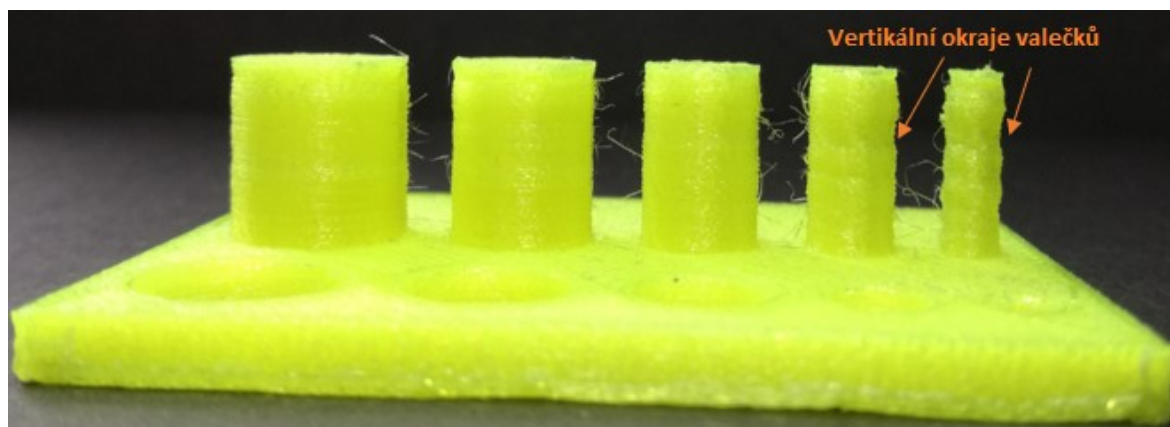
Vytištěné modely ze sledovaných 3D tiskáren (Anet A2, EASY3D MAKER a Prusa i3 MK2S) jsem prohlédl všechny. Poté jsem ke každé tiskárně zvlášť napsal jedno bodové hodnocení, což je součásti (Tab. č.13.). U porovnávání vzhledu modelu jsem využíval bodové hodnocení, v mém případě je 5 bodů maximum pro danou kategorii a minimum bodů v dané kategorii je 0.

Protože se jedná při vizuálním hodnocení modelu především o subjektivní názor, který může mít každý hodnotící jiný, přikládám fotky jednoho pohledu na model u všech tří tiskáren, kde je patrný vizuální rozdíl. Důležité je také dodat, že se jedná o jedno hodnocení pro všech 5 vzorků z jedné tiskárny. Tedy, každý jeden vzorek může být jiný a problém se vyskytne vždy na jiné části vzorku.

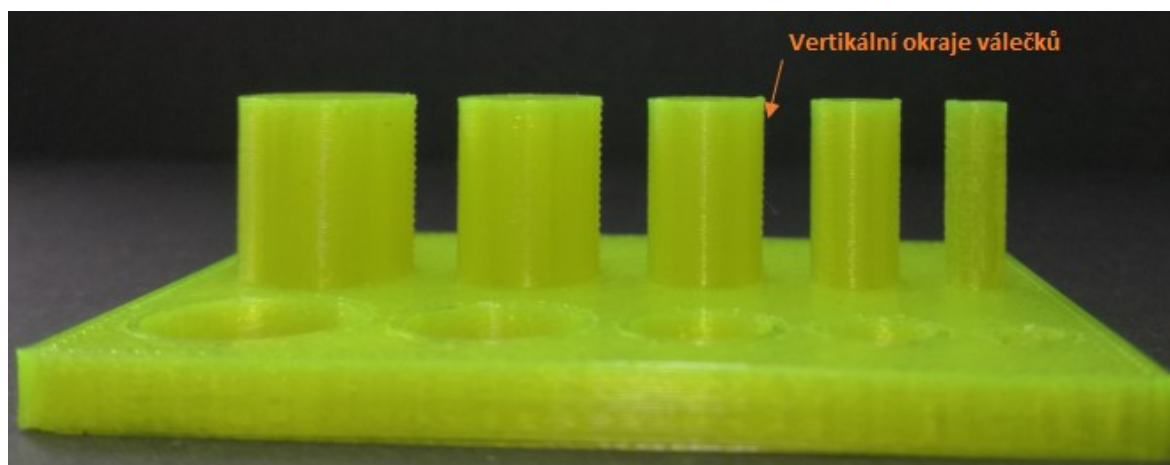
Pro ukázkou jsou přiloženy tři fotky bočního pohledu na model, kde je detailní pohled na vertikální okraje válečků. Obrázek č.43 je pro vzorek z tiskárny EASY3DMAKER, který získal 1 bod pro hodnocení vertikálních okrajů válečků. Na obrázku č. 44 je vzorek z tiskárny Anet A2, který získal 2 body pro hodnocení vertikálních okrajů válečků. Na třetím obrázku č. 45 je vzorek z tiskárny Prusa i3 MK2S, který získal 5 bodů v hodnocení vertikálních okrajů válečků.



**Obrázek č. 43 – Vzorek z tiskárny EASY3DMAKER**



**Obrázek č. 44 – Vzorek z tiskárny Anet A2**

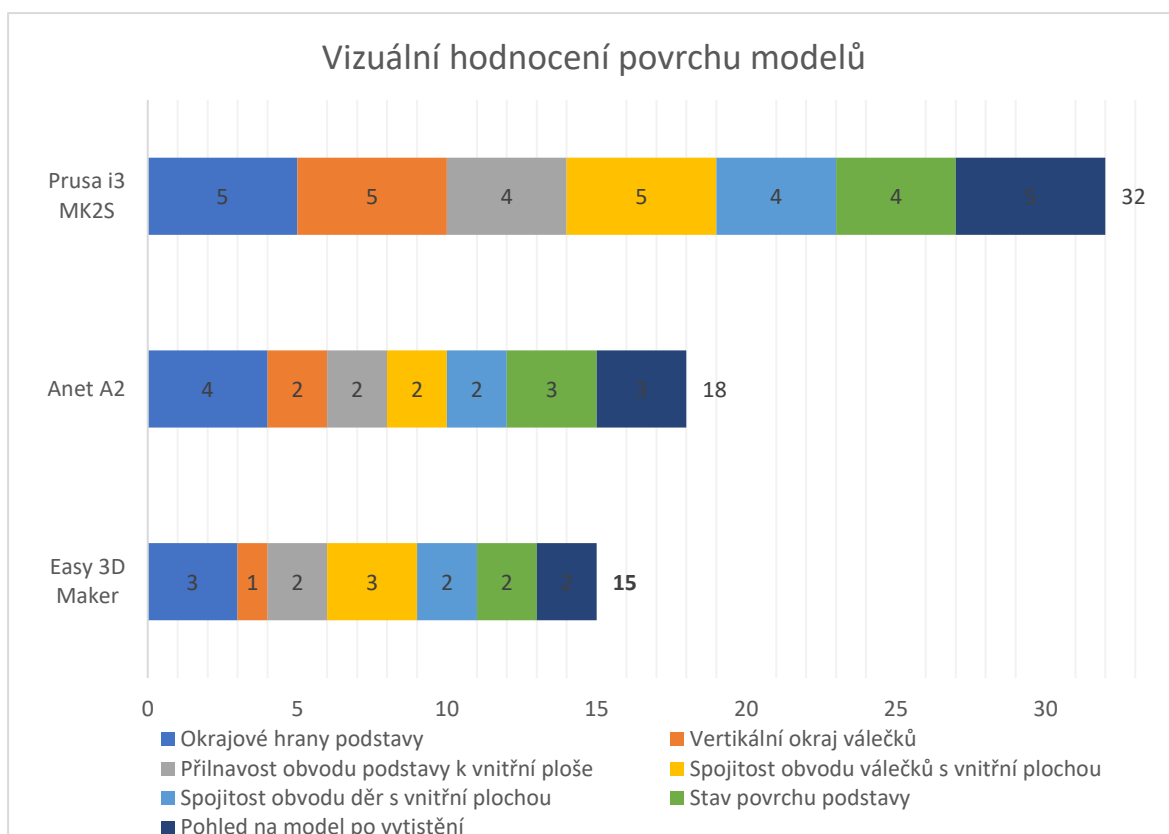


**Obrázek č. 45 – Vzorek z tiskárny Prusa i3 MK2S**

V grafickém shrnutí je ke každé sledované části přiděleno bodové hodnocení a součet bodových hodnocení, který je za barevným pruhovým grafem určuje kolik daná tiskárna získala bodů (Obr.č.46). Podle počtu bodů jsou seřazeny tiskárny sestupně od nejlépe hodnocené až po nejhorší tiskárnu z pohledu vytištěných modelů a jejich vizuálního hlediska.

Tab. č.13. Tabulka bodového hodnocení

POHLED (-)	SLEDOVANÁ ČÁST MODELU (-)	TISKÁRNA (TYP)	HODNOCENÍ (1÷5)
<b>Boční pohled</b>	Okrajové hrany podstavy	Anet A2	4
		Easy 3D Maker	3
		Prusa i3 MK2S	5
	Vertikální okraj válečků	Anet A2	2
		Easy 3D Maker	1
		Prusa i3 MK2S	5
<b>Pohled shora</b>	Přilnavost obvodu podstavy k vnitřní ploše	Anet A2	2
		Easy 3D Maker	2
		Prusa i3 MK2S	4
	Spojitosť obvodu válečků s vnitřní plochou	Anet A2	2
		Easy 3D Maker	3
		Prusa i3 MK2S	5
	Spojitosť obvodu děr s vnitřní plochou	Anet A2	2
		Easy 3D Maker	2
		Prusa i3 MK2S	4
	Stav povrchu podstavy	Anet A2	3
		Easy 3D Maker	2
		Prusa i3 MK2S	4
<b>Celkový vzhled</b>	Pohled na model po vytištění	Anet A2	3
		Easy 3D Maker	2
		Prusa i3 MK2S	5



**Obrázek č. 46 – Grafické shrnutí vizuálního hodnocení**

Při celkovém součtu přiděleného hodnocení a shrnutí vizuálního hodnocení lze říct, že nejlépe z tohoto porovnání dopadla tiskárna Prusa i3 MK2S se 32 body. Na druhém místě je sestavená stavebnice 3D tiskárny Anet A2, která získala 18 bodů. Třetí místo ve vizuálním hodnocení obsadila 3D tiskárna EASY3DMAKER s 15 body.

Na první pohled po zkoumání vzorků ze všech tiskáren lze říci, že opravdu nejlépe vypadají modely z tiskárny Prusa i3 MK2S od české firmy Prusa Research. U dalších dvou tiskáren jde vidět, že modely vypadají hůře, ale vše by se dalo vylepšit, jestliže by byla každá porovnávaná tiskárna nastavována individuálně podle jí vyhovujících parametrů (rychlosti tisku, výšce vrstvy, teplotě extruderu apod.). Všechny 3D tiskárny mají své optimální nastavení. V této diplomové práci šlo však o porovnání vzorku mezi sebou a z důvodu vzájemné porovnatelnosti byly nastaveny stejné podmínky, ať je porovnání co nejvíce objektivní. Obvykle se při tisku na nové tiskárně provede několik referenčních výtisků vzorku, aby uživatel zjistil optimální parametry. Velkou roli při určení parametrů zde hraje také druh základního materiálu pro tisk.



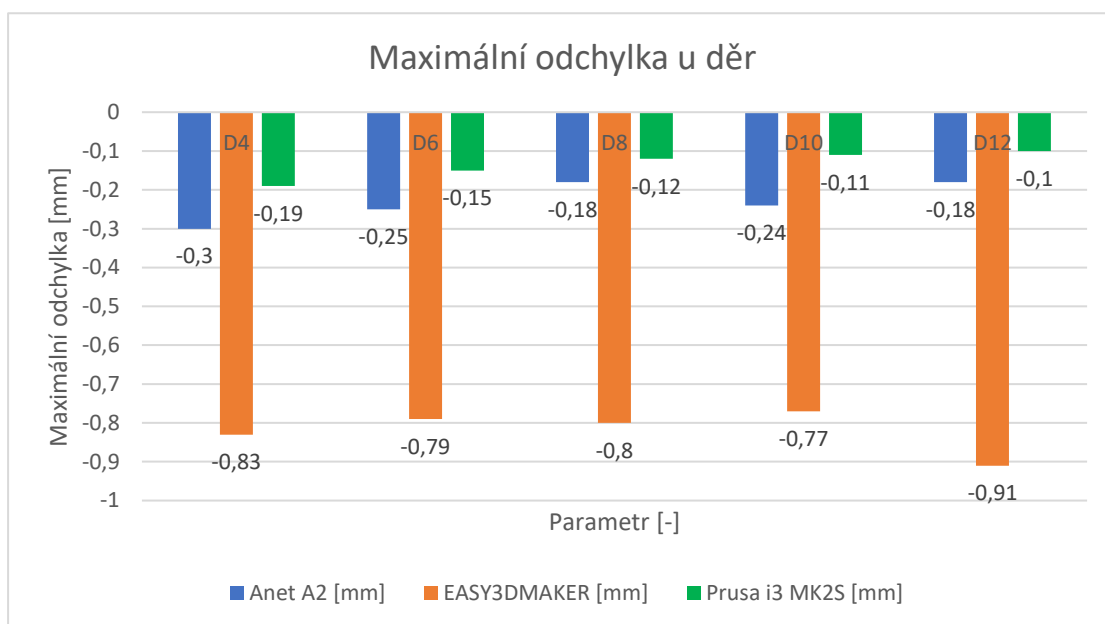
### 5.3 Zhodnocení rozměrové přesnosti

Všechny tři porovnávané tiskárny měly nastaveny stejné parametry tisku. Rozměrové parametry na modelech (díry a válečky) jsem vypočítal podle vzorového výpočtu v kapitole 3.4 Vzorový výpočet parametru  $d_4$ . Samotné měření bylo provedeno podle popisu v kapitole 3.2 Postup hodnocení tištěného modelu. Všechny výpočty byly provedeny v tabulkovém procesoru Excel a jsou z důvodu obsáhlosti součásti elektronické přílohy jako příloha C. Ke každé tiskárně kromě jejich parametrů a samotného popisu je přidána také tabulka s výsledky měření děr a válečků na všech pěti modelech.

Součástí této kapitoly jsou výsledky maximální odchylky děr a válečků dosažených na všech třech tiskárnách (Anet A2, EASY3DMAKER a Prusa i3 MK2S). Maximální odchylka pomůže naznačit s jakou nejhorší odchylkou od jmenovitého průměru navrženého v AutoCadu můžeme počítat.

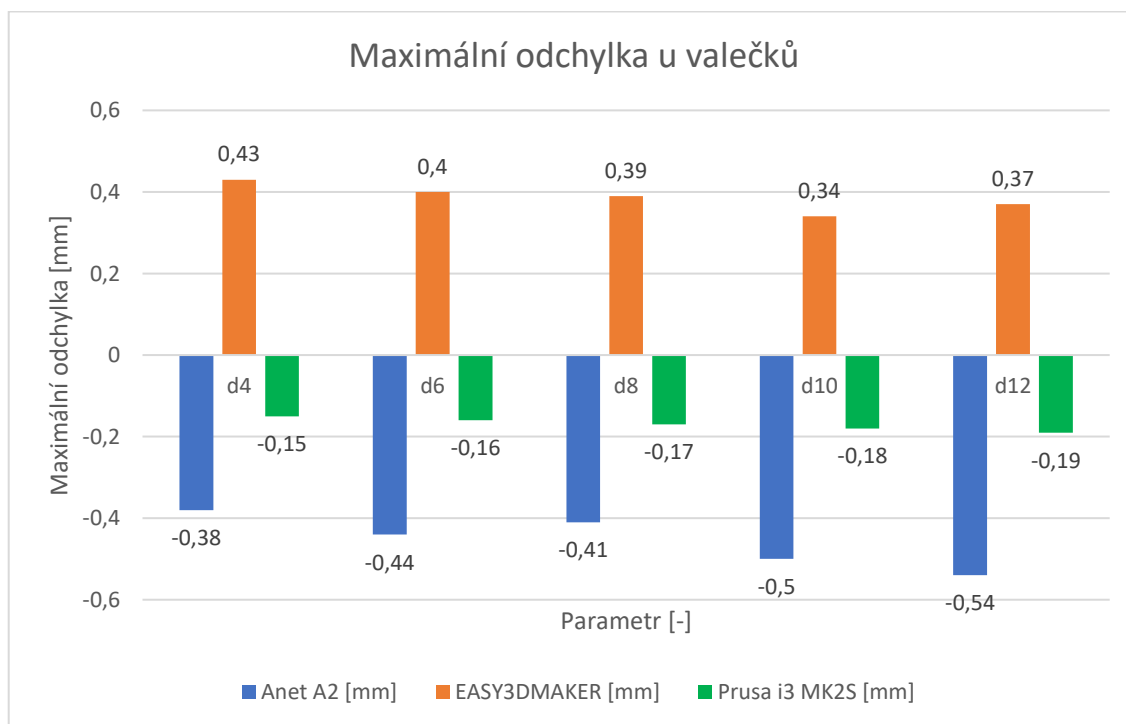
Pro porovnání všech tří tiskáren z hlediska rozměrové přesnosti použiji znovu bodové hodnocení. Tentokrát vyhodnotím pro každý průměr ze všech tří tiskáren umístění. Nejlepší umístění získá pro jednotlivý průměr ta tiskárna, která má nejmenší maximální odchylku (díry a válečků) od navrhovaného průměru z programu AutoCad. První místo 1 bod, druhé místo 2 body a třetí 3 body. Nejmenší suma těchto umístění určí, která tiskárna má nejblíže navrhovanému průměru jak děr, tak válečků.

Na obrázku (Obr.č.47) je maximální odchylky u děr měřených na všech modelech. Z obrázku je patrné, že nejblíže modelovanému rozměru se blíží modely vytištěné na tiskárně Prusa i3 MK2S, které mají pětikrát nejblíže modelovanému rozměru, tedy pětikrát obsadili první místo se sumou 5 bodů. Na druhém místě je 3D tiskárna Anet A2, která obsadila pětikrát druhé místo se sumou 10 bodů. Třetí místo obsadila 3D tiskárna EASY3DMAKER, která byla podle grafu pětikrát na třetím místě se sumou 15 bodů. Vyhodnocení je opačné oproti vizuálnímu hodnocení, kde byla větší suma lepší, v tomto případě však беру nejmenší sumu jako nejlepší.



**Obrázek č. 47 – Maximální odchylka u děr**

Součástí dalšího obrázku (Obr. č.48) je maximální odchylky válečků měřených na všech modelech. Pořadí tiskáren je zde následující. Nejblíže rozměru z AutoCadu je tiskárna Prusa i3 MK2S, která byla pětikrát na prvním místě s se sumou 5 bodů. Na druhém místě se umístila tiskárna EASY3D MAKER, která byla čtyřikrát druhá a jednou třetí se sumou 11 bodů. Třetí místo pak obsadila 3D tiskárna Anet A2, která byla jednou druhá a čtyřikrát obsadila třetí místo s konečnou sumou 14 bodů.



**Obrázek č. 48 – Maximální odchylka u válečků**

Po vyhodnocení všech kritérií, které jsem pro hodnocení tiskáren využíval je vytvořen obrázek č.49. Na obrázku č.49 je vizuálně patrné, jak si mezi sebou tyto tři porovnávané tiskárny stojí. Na prvním místě je 3D tiskárna Prusa i3 MK2S, druhé místo obsadila Anet A2 a třetí místo obsadila 3D tiskárna EASY3DMAKER.



**Legenda:** 1. První místo v dané kategorii, 2. Druhé místo v dané kategorii, 3. Třetí místo v dané kategorii

**Obrázek č. 49 – Závěrečné hodnocení tiskáren.**

## 6. Závěr

Cílem této diplomové práce byl montážní postup tiskárny Anet A2 zakoupené Katedrou obrábění, montáže a strojírenské metrologie. Tato tiskárna byla zakoupena na čínském trhu jako stavebnice. Po sestavení bylo zapotřebí zjistit, zdali je 3D tiskárna vůbec funkční. Pro ověření její funkčnosti byl navržen model a ten by následně porovnán s dalšími 3D tiskárnami. Výsledkem diplomové práce by mělo být porovnání této sestavené tiskárny Anet A2 s ostatními konkurenčními použitými tiskárnami EASY3D MAKER a Prusa i3 MK2S.

Tato diplomová práce by se dala rozdělit do tří částí. V první části práce je popsána teoreticky technologie Fused Deposition Modeling (FDM) a materiály, které tiskárny s touto technologií nejčastěji využívají k tisku. Jako tiskové materiály byly blíže popsány materiály ABS a PLA s tím, že materiál PLA byl použitý i v praktické části. V druhé části byl prakticky proveden a popsán montážní postup sestavení dodané tiskárny Anet A2 společně s její kalibrací. Součástí poslední třetí části bylo navržení tiskového modelu, který sloužil pro porovnání tiskáren. K tisku a porovnání byly k dispozici tři tiskárny. Výše zmiňovaná složená tiskárna Anet A2, tiskárna EASY3D MAKER, která je také majetkem Katedry obrábění, montáže a strojírenské metrologie a poslední testovanou tiskárnou byla 3D tiskárna Prusa i3 MK2S od společnosti Prusa Research, která byla použita od externího zdroje. V praktické části jsou popsány používané tiskárny a také styl porovnávání navrženého modelu. K porovnávání slouží měření průměru děr a válečků na vytištěných modelech.

Po sestavení a kalibraci tiskárny byl navržený model z důvodu statistického zpracování vytištěn pětikrát na každé tiskárně (Anet A2, EASY3D MAKER a Prusa i3 MK2S). Tisk probíhal za stejných vstupních parametrů při generování G – codu pro každou tiskárnu. Poté byly modely měřeny a vizuálně hodnoceny.

Celkově dopadla v porovnání nejlépe tiskárna Prusa i3 MK2S, která měla nejmenší maximální odchylky u děr i válečků. U obou těchto kritérií získala 5 bodů. Vyhrála také vizuální hodnocení, kde získala 32 bodů. Jediné porovnávací kritériu, kde nebyla tiskárna první, je její pořizovací cena, která se pohybuje na druhém místě, a to s cenou 15 990 Kč.

Druhé místo obsadila 3D tiskárna Anet A2, která se v této diplomové práci sestavovala z dodané stavebnice. Tato tiskárna byla druhá v maximální odchylce děr se sumou 10 bodů a třetí v maximální odchylce u válečků se sumou 14 bodů. Druhé místo obsadila ve vizuálním hodnocení, kde získala 18 bodů. V pořizovací ceně tiskáren obsadila první místo s cenou 5 700 Kč.

Třetí místo obsadila 3D tiskárna EASY3DMAKER, která obsadila třetí místo u maximální odchylky u děr se sumou 15 bodů. V dalším hodnocení maximální odchylky u válečků byla druhá s 11 body. Z pohledu vizuálního hodnocení obsadila také třetí místo s 15 získanými body. Třetí místo jí náleželo i za její pořizovací cenu, která byla 39 988 Kč.

Výsledky hodnocení 3D tiskáren určených k tomuto vzájemnému porovnání mohly dopadnout také jinak. Jelikož každá tiskárna potřebuje individuální nastavení parametrů tisku. V podstatě to znamená, že každé tiskárně vyhovuje jiná rychlost tisku a jiné vstupní nastavované parametry. V této diplomové práci bylo však využito nastavení, které internetová komunita 3D tisku udává jako optimální a nejvíce používané. Toto jednotné nastavení bylo důležité z hlediska objektivitu porovnatelnosti modelů mezi jednotlivými tiskárnami. Není pochyb o tom, že při změně nastavení u jakékoliv z těchto tří tiskáren bychom mohli dosáhnout ještě lepších výsledků, jak vzhledových, tak rozměrových.

Závěrem lze říci že 3D tiskárna Anet A2, která byla v této diplomové práci sestavena a porovnávána skončila na druhém místě. Pohled na vytištěné modely je z celkového hlediska v pořádku bez velkého množství vad. Při dalším individuálním pozorování a zkoušení rychlostí a teploty by se daly modely ještě více zkvalitnit což, ale nebylo součástí této diplomové práce. Tiskárna v této cenové relaci tiskne hodně nad očekávání. Navíc veškeré náhradní díly na tuto tiskárnu jsou na čínském trhu levné.

## Seznam použité literatury

- [1] *Anet3D: Operation Instruction Model:A2* [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <http://www.anet3d.com/uploads/product/A2/A2%20Instruction-1.1.pdf>
- [2] Svet-3d-tisku: Uživatelský manuál [online]. 2013 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: [https://eshop.svet-3d-tisku.cz/user/related\\_files/u\\_\\_ivatelsk\\_\\_\\_p\\_\\_\\_ru\\_\\_ka\\_easy-\\_verze\\_7\\_2013.pdf](https://eshop.svet-3d-tisku.cz/user/related_files/u__ivatelsk___p___ru__ka_easy-_verze_7_2013.pdf)
- [3] KUTZ, Myer. *Applied plastics engineering handbook: processing, materials, and applications*. Boston, MA: Elsevier, 2016. ISBN 978-0-323-39040-8.
- [4] PERALE, Giuseppe a J. G. HILBORN. *Bioresorbable polymers for biomedical applications: from fundamentals to translational medicine*. Amsterdam: Elsevier/Woodhead Publishing, 2017. Woodhead Publishing series in biomaterials, no. 120. ISBN 978-0-08-100262-9.
- [5] FRANKE, Jörg. *Three-dimensional molded interconnect devices (3D-MID): materials, manufacturing, assembly, and applications for injection molded circuit carriers*. Cincinnati, OH: Hanser Publications, 2014. ISBN 978-1-56990-551-7.
- [6] RUFÉ, Philip D. *Fundamentals of manufacturing*. 3rd ed. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, c2013. ISBN 978-0-87263-870-9.
- [7] Fused Deposition Modeling (FDM) - Stratasys. *Rapid Prototyping*. München: Hanser Verlag, 2003, s. 162-163. ISBN 9783446402690.
- [8] Fused Deposition Modeling (FDM). *Understanding additive manufacturing: Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing*. Munich: Hanser, 2012, s. 45-47. ISBN 9783446425521.
- [9] In: *Researchgate: Sketch of FDM technology and model building* [online]. 2016 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Sketch-of-FDM-technology-and-model-building\\_fig1\\_311439855](https://www.researchgate.net/figure/Sketch-of-FDM-technology-and-model-building_fig1_311439855)
- [10] *Cati: 3D Printing – FDM Materials* [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.cati.com/3d-printing/3d-printing-materials/fdm-materials/>
- [11] *3d-tisk: PLA* [online]. 2014 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/pla/>
- [12] *Tvaroch: Rozdiel medzi ABS a PLA* [online]. 2013 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <http://tvaroch.sk/blog/rozdiel-medzi-abs-pla/>



- [13] ZUKALOVÁ, Marie. Materialpro3d: ROZDÍL MEZI ABS,PLA, PETG [online]. 2017 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/rozdily-abs-pla-petg/>
- [14] ZUKALOVÁ, Marie. *Materialpro3d: PLA* [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pla/>
- [15] *3dtisknazakazku: Historie a současnost 3D tisku* [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <http://www.3dtisknazakazku.cz/9-clanky/15-historie-a-soucasnost-3d-tisku.html>
- [16] *3dhubs: Original Prusa i3 MK2* [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/best-3d-printer-guide/2017#original-prusa-i3-mk2>
- [17] PRŮŠA, Josef. *Prusaprinters: ORIGINAL PRUSA I3 MK2S RELEASE* [online]. 2017 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.prusaprinters.org/original-prusa-i3-mk2s-release/>
- [18] *Prusa3d: 3D TISKÁRNA ORIGINAL PRUSA I3 MK2S* [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/>
- [19] *Prusa3d: Original Prusa i3 MK2/S Multi Material upgrade* [online]. 2017 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://shop.prusa3d.com/cs/upgrade-tiskaren/118-original-prusa-i3-mk2s-multi-material-upgrade.html>
- [20] MLEZIVA, Josef. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-859-2072-7.
- [21] *3dhubs: Dimensional accuracy of 3D printed parts* [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/dimensional-accuracy-3d-printed-parts#fdm>
- [22] ERMIS, Jan. *Strategie 3D tisku tiskárny EASY 3D MAKER*. 2016. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

## Seznam obrázků

Obrázek č. 1 – Princip technologie FDM [9].....	11
Obrázek č. 2 – Obsah dodaného balení.....	14
Obrázek č. 3 – Rohové podpory, profily a pomůcky.....	15
Obrázek č. 4 – Spodní hliníkový profil ve tvaru kříže.....	16
Obrázek č. 5 – Namontované pravá a levá strana rámu.....	17
Obrázek č. 6 – Uložení upevňovací pro vyhřívanou podložku.....	18
Obrázek č. 7 – Y upevňovací destička s ložisky.....	18
Obrázek č. 8 – Sestavená Y destička s krokovým motorem.....	19
Obrázek č. 9 – Sestava osy Z.....	20
Obrázek č. 10 – Namontovaný Y koncový spínač.....	21
Obrázek č. 11 – Namontovaná vyhřívaná deska.....	22
Obrázek č. 12 – X upevňovací deska s ložisky.....	23
Obrázek č. 13 – X krokový motor na X upevňovací desce.....	24
Obrázek č. 14 – Extruder s upevňovací deskou.....	25
Obrázek č. 15 – Sestavená osa X.....	26
Obrázek č. 16 – Osa X na rámu tiskárny.....	26
Obrázek č. 17 – Nainstalovaný hliníkový profil 2020 na rám.....	27
Obrázek č. 18 – Podavač a Z krokový motor nainstalovaný na upevňovací desce.....	28
Obrázek č. 19 – Namontování Z upevňovací desky na rám.....	29
Obrázek č. 20 – Matice s pohybovým šroubem na ose Z.....	30
Obrázek č. 21 – Koncový spínač osy X.....	31
Obrázek č. 22 – Příprava koncového spínače osy Z.....	32
Obrázek č. 23 – Nainstalovaný řemen extruderu.....	33
Obrázek č. 24 – Displej namontovaný na rámu.....	34
Obrázek č. 25 – Namontovaná základní deska k rámu.....	35
Obrázek č. 26 – Namontované rohové výztuhy rámu.....	36
Obrázek č. 27 – Připojení elektroniky.....	37
Obrázek č. 28 – Páskování Y koncového spínače a motorku.....	38
Obrázek č. 29 – Schéma zapojení zdroje 12V.....	39
Obrázek č. 30 – Schéma zapojení základové desky.....	39
Obrázek č. 31 – Zakrytovaná základní deska.....	40
Obrázek č. 32 – Kalibrace vyhřívané základní podložky.....	41

Obrázek č. 33 – Vzorový model.....	42
Obrázek č. 34 – Měření válečků.....	43
Obrázek č. 35 – Měření děr.....	44
Obrázek č. 36 – Vytisknuté modely.....	48
Obrázek č. 37 – Boční pohled na model.....	49
Obrázek č. 38 – Pohled na model shora.....	50
Obrázek č. 39 – Celkový pohled na model.....	50
Obrázek č. 40 – Tiskárna Anet A2 [1].....	52
Obrázek č. 41 – Tiskárna EASY3D MAKER [2].....	53
Obrázek č. 42 – Tiskárna Prusa i3 MK2S.....	55
Obrázek č. 43 – Vzorek z tiskárny EASY3D MAKER.....	59
Obrázek č. 44 – Vzorek z tiskárny Anet A2.....	59
Obrázek č. 45 – Vzorek z tiskárny Prusa i3 MK2S.....	60
Obrázek č. 46 – Grafické shrnutí vizuálního hodnocení.....	61
Obrázek č. 47 – Maximální odchylka u děr.....	63
Obrázek č. 48 – Maximální odchylka u válečků.....	63
Obrázek č. 49 – Závěrečné hodnocení tiskáren.....	64

## Seznam tabulek

Tab. č.1. Parametry tisku použité v experimentální části.....	45
Tab. č.2. Naměřené hodnoty všech válečků vzorku číslo 1. Anet A2.....	46
Tab. č.3. Rozdíl naměřené a průměrné hodnoty.....	47
Tab. č.4. Parametry tiskárny Anet A2 [1].....	52
Tab. č.5. Výsledky měření válečků z tiskárny Anet A2.....	53
Tab. č.6. Výsledky měření děr z tiskárny Anet A2.....	53
Tab. č.7. Parametry tiskárny EASY3DMAKER [2].....	53
Tab. č.8. Výsledky měření válečků z tiskárny EASY3DMAKER.....	54
Tab. č.9. Výsledky měření děr z tiskárny EASY3DMAKER.....	55
Tab. č.10. Parametry tiskárny Prusa i3 MK2S [18].....	56
Tab. č.11. Výsledky měření válečků z tiskárny Prusa i3 MK2S.....	57
Tab. č.12. Výsledky měření děr z tiskárny Prusa i3 MK2S.....	57
Tab. č.13. Tabulka bodového hodnocení.....	60

## Seznam příloh

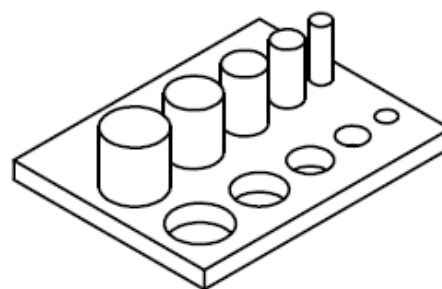
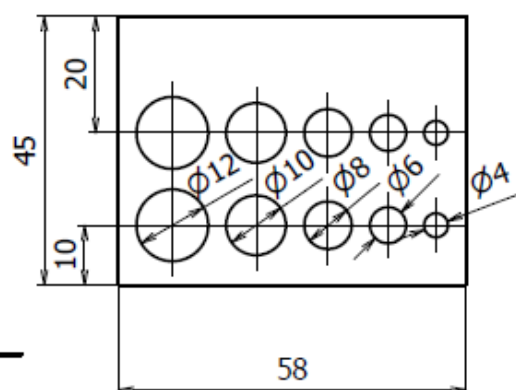
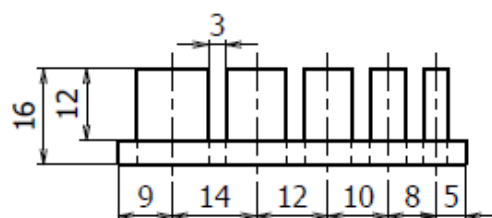
Příloha A – Výkres vzorového modelu

Příloha B – Obsah balení tiskárny Anet A2

Příloha C – Výpočty válečků a děr na všech modelech el. Příloha (Excel)

Příloha D – G – cody pro všechny tři tiskárny el. příloha

# Příloha A – Výkres vzorového modelu



1	Model s válečky a dírami			PLA - plast	0,005 kg	20
ODKAZ	OZNAČENÍ			NORMA/VÝKRES	MATERIÁL	HMOTNOST
				Materiál	TF odpadu	Úprava hran
				PLA	001	ISO 13715
				Polotovár		Přesnost
				Čistá hmotnost	Hrubá hmotnost	ISO 2768-mK
Index	Popis změny	One	Podpisy			Tolerování
						ISO 8015
Oddělení	Technický referent	Druh dokumentu	Status dokumentu	Soubor	Č. sestavy	Č. seznamu položek
VŠB-TUO	Kreslil ERMIS	DILENSKÝ VÝKRES	VDÁNO		Č. dokumentu	SN2STE02-D01
	Přezkoušel Ing. Jiří	Model s válečky a dírami			Změna	Datum vydání
	Kratochvíl, Ph.D.				16. 11.	2017
					Jazyk	Formát
					CS	A4
					List	1



## Příloha B – Obsah balení tiskárny Anet A2

### **Šrouby a matice:**

- Šroub M3 x 12 mm – 14 ks.
- Šroub M3 x 18 mm – 12 ks.
- Šroub M3 x 30 mm – 14 ks.
- Šroub M3 x 45 mm – 4 ks.
- Šroub M5 x 30 mm – 16 ks.
- Šroub s plochou hlavou M5 x 12 mm – 38 ks.
- Šroub s plochou hlavou M5 x 14 mm – 19 ks.
- Šroub M8 x 150 mm – 1 ks.
- Pohybový šroub M8 x 318 mm – 1 ks.
- Křídelnatá matice M3 – 4 ks.
- Matice M3 – 26 ks.
- Matice M5 – 16 ks.
- Matice M8 – 4 ks.
- Matice do T-drážky M5 – 57 ks.
- Samojistící matice M5 – 6 ks.
- Podložka M5 – 16 ks.
- Plastový váleček s dírou M3 x 7 x 7 mm – 18 ks.
- Plastový váleček s dírou M3 x 7 x 30 mm – 4 ks.
- Plastový váleček s dírou M5 x 9 x 10 mm – 16 ks.
- Pružinky – 4 ks.

### **Díly použité na rámu:**

- Hliníkový profil 2040 pro osu X, 400 mm – 1 ks.
- Hliníkový profil 2040 pro osu Y, 400 mm – 1 ks.
- Hliníková profil 2040 pro levou část osy Z, 400 mm – 1 ks.
- Hliníkový profil 2020 pro pravou část osy Z, 400 mm – 1 ks.
- Hliníkový profil 2020 pro horní část, 380 mm – 1 ks.
- Hliníkový profil 2040 pro dolní část základny, 150 mm – 2 ks.
- Rohové podpory rámu – 8 ks.

**Mechanika:**

- Řemen – 2,4 m.
- Ložiska 12 ks.
- Ložiska s plastovým okrajem – 16 ks.

**Upevňovací destičky:**

- Upevňovací deska pro vyhřívanou podložku – 1 ks.
- Boční upevňovací desky pro sestavu zásobníku materiálu – 2 ks.
- Střední upevňovací desky pro zásobník materiálu – 2 ks.
- Ochrana displeje – 1 ks.
- Upevňovací deska pro displej – 1 ks.
- Upevňovací deska zadní části pro základovou desku – 1 ks.
- Upevňovací deska přední části pro základovou desku – 1 ks.
- Upevňovací deska pro Z krokový motor – 1 ks.
- Upevňovací deska pro Y krokový motor – 1 ks.
- Upevňovací deska pro X krokový motor – 1 ks.
- Upevňovací deska pro Z koncový spínač – 1 ks
- Upevňovací deska pro Y koncový spínač – 1 ks.
- Upevňovací deska pro X koncový spínač – 1 ks.
- Upevňovací deska pro matici pohybového šroubu – 1 ks.
- Upevňovací deska pro extruder – 1 ks.
- Upevňovací deska X pro ložiska – 1 ks.
- Upevňovací deska Y pro ložiska – 1 ks.
- Upevňovací deska 1–1 ks.
- Upevňovací deska 2–1 ks.

**Elektronika:**

- USB kabel 1,5 m – 1 ks.
- Napájecí kabel 1,5 m – 1 ks.
- Tryska – 1 ks.
- Přívodní drát podavače materiálové struny, 40 cm – 1 ks
- Drát pro vyhřívanou desku – 1 ks.
- Drát pro X koncový spínač, 90 cm – 1 ks.
- Drát pro Y koncový spínač, 90 cm – 1 ks.

- Drát pro Z koncový spínač, 20 cm – 1 ks.
- Drát pro X krokový motor, 40 cm – 1 ks.
- Drát pro Y krokový motor, 90 cm – 1 ks.
- Drát pro Z krokový motor, 40 cm – 1 ks.
- Základová deska – 1 ks.
- LCD displej 2004 – 1 ks.
- Vyhřívaná základní stavěcí deska 220 x 220 x 3 mm – 1 ks.
- Napájecí zdroj 12 V, 240 W – 1 ks.
- Motor extruderu – 1 ks.
- X krokový motor – 1 ks.
- Y krokový motor – 1 ks.
- Z krokový motor – 1 ks.

**Různé:**

- Kleště – 1 ks.
- Šroubovák 5 x 160 mm – 1 ks.
- Šroubovák 3 x 130 mm – 1 ks.
- Imbusový klíč M 1,5 – 1 ks.
- Imbusový klíč M 2 – 1 ks.
- Imbusový klíč M 2,5 – 1 ks.
- Imbusový klíč M 3 – 1 ks.
- Plochý klíč – 1 ks.
- Teflonová trubička – 1 ks.
- Páskovací chránič kabelů, 3 m – 1 ks.
- R klipy – 3 ks.
- Ploché těsnění rámu, 30 cm – 1 ks.
- USB čtečka karet + karta 8 GB.

#### Poděkování:

Práce byla podpořena ze Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v rámci projektu SP2018/150 Specifický výzkum moderních výrobních technologií s cílem zvýšit a podpořit vědecko-výzkumné aktivity studentů doktorských a magisterských studijních programů ve spolupráci s akademickými pracovníky.

Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za jeho cenné připomínky, velkou vstřícnost a odbornou pomoc při tvorbě této diplomové práce. Děkuji také své rodině, za veškerou podporu během studia na vysoké škole.